

**Diagnostik okklusaler Läsionen mittels Quantitativer  
Lichtinduzierter Fluoreszenzmessung (QLF)  
- eine In-vitro-Studie**

**Dissertation**

Zur Erlangung des akademischen Grades  
Doctor medicinae dentariae  
(Dr. med. dent.)

vorgelegt dem  
Rat der Medizinischen Fakultät  
der Friedrich-Schiller-Universität Jena

von Susanne Ifland  
geboren am 14.08.1976 in Friedrichroda

Jena 2004

Gutachter

1. Prof. Dr. R. Heinrich-Weltzien, Jena
2. Prof. Dr. I. Hoyer, Jena
3. Prof. Dr. J. Klimek, Gießen

Tag der öffentlichen Verteidigung: 4. Januar 2005

# Inhaltsverzeichnis

		Seite
	Abkürzungsverzeichnis	5
1	Zusammenfassung	6
2	Literaturübersicht	8
2.1	Epidemiologie und klinisches Erscheinungsbild der Okklusalkaries	8
2.2	Methoden der Kariesdiagnostik	10
2.2.1	Taktile und visuelle Kariesdiagnostik	10
2.2.2	Röntgenografische Kariesdiagnostik	12
2.2.3	Zum Einsatz der Quantitativen Lichtinduzierten Fluoreszenz- messung (QLF) als Kariesdiagnostikmethode	14
2.2.3.1	Physikalische Grundlagen von QLF	14
2.2.3.2	Kariesdetektion mit QLF	19
2.2.3.3	Kariesmonitoring mit QLF	20
3	Zielstellung	22
4	Material und Methoden	23
4.1	Auswahl und Vorbereitung des Untersuchungsmaterials	23
4.2	Untersuchungsmethoden	23
4.2.1	Visuelle Diagnostik	23
4.2.2	Röntgenografische Untersuchung	25
4.2.3	Quantitative Lichtinduzierte Fluoreszenzmessung (QLF)	26
4.2.4	Mikroradiografische Untersuchung	36
4.3	Kalibration der Untersucher	38
4.4	Statistische Analyse	39
5	Ergebnisse	42
5.1	Einzelbefunde	42
5.1.1	Visuelle Kariesdiagnostik	42
5.1.2	Röntgenografische Kariesdiagnostik	42
5.1.3	Kariesdiagnostik mit QLF	43
5.1.4	Mikroradiografische Untersuchung	45
5.2	Vergleichende Bewertung der Einzelbefunde	46
6	Diskussion	52
6.1	Visuelle Kariesdiagnostik	52

6.2	Röntgenografische Kariesdiagnostik	54
6.3	Kariesdiagnostik mit QLF	56
7	Schlussfolgerungen	62
8	Literaturverzeichnis	64
9	Anhang	75

Im Ergebnis der Dissertation veröffentlichte wissenschaftliche Vor-  
träge und Publikationen

Danksagung

Ehrenwörtliche Erklärung

Lebenslauf

## **Abkürzungsverzeichnis**

CLSM	Konfokale Laserscanningmikroskopie
DELFI	Farbstoffverstärkte Laserfluoreszenz
ECM	Elektrische Widerstandsmessung
FOTI	Faseroptische Transillumination
ICC	Intraclass Correlation Coefficient
LAF	Laser Autofluoreszenz
MR	Mikroradiografie
QLF	Quantitative Lichtinduzierte Fluoreszenzmessung
ROC-Kurve	Receiver Operator Characteristic-Kurve
TMR	Transversale Mikroradiografie

## **1 Zusammenfassung**

Die Quantitative Lichtinduzierte Fluoreszenzmessung (QLF) ist eine neue nicht invasive Diagnostikmethode, die die unterschiedlichen Fluoreszenzeigenschaften von gesundem und kariösen Schmelz nutzt, um eine Aussage über die Progression des kariösen Prozesses zu treffen.

Ziel der vorliegenden In-vitro-Studie war es, QLF als Methode zur Detektion okklusaler Dentinläsionen zu prüfen und vergleichend mit den konventionellen Verfahren der visuellen und röntgenografischen Okklusalkariesdiagnostik zu bewerten. Welcher Wert des Fluoreszenzverlustes ( $\Delta F$ ) eine Differenzierung zwischen einer Schmelz- und Dentinkaries erlaubt und welche Bedeutung den QLF-Parametern Area (Läsionsausdehnung) und  $\Delta Q$  (Produkt aus Fluoreszenzverlust und Läsionsausdehnung) zukommt, waren vorrangig zu beantwortende Fragen. Im Ergebnis der Studie sollte anhand der klassischen Güteparameter von Screeningmethoden aufgezeigt werden, welche Methode am besten für die Okklusalkariesdiagnostik geeignet ist.

In die Untersuchung wurden die Okklusalflächen von 54 extrahierten zweiten und dritten Molaren mit unterschiedlichen kariösen Progressionsstadien einbezogen. Alle Okklusalflächen wurden nach dem visuellen Diagnostiksystem von Ekstrand et al. (1997) beurteilt. Die röntgenografische Diagnostik der Insight Dental Filme (Eastman Kodak Company, USA; Belichtungszeit 0,26 s, Spannung 65 kV) erfolgte nach den von Weerheijm et al. (1992a) definierten Kriterien. Anschließend wurden Fluoreszenzbilder der Okklusalflächen mit der Spiegelversion der CCD-Kamera Panasonic WV-KS 152 QLF\clin (Inspektor Research System BV, Niederlande) angefertigt. Die Analyse der Fluoreszenzbilder erfolgte mit der QLF-Software 2.00f (Inspektor Research System BV, Niederlande). Zur Validierung der Diagnostikmethoden wurden 300  $\mu\text{m}$  dicke bukkolinguale läsionsbezogene Schliffe der Molaren angefertigt und histologisch befundet. Die Schliffpräparate mit der größten kariösen Ausdehnung wurden einer mikroradiografischen Untersuchung am Karolinska Institut, Stockholm, Schweden unterzogen. Die Expositionszeit der Kodak Highspeed Holographic Filme (Eastman Kodak Company, USA) mit Ni-gefilterten Cu  $K\alpha$ -Röntgenstrahlen bei 20 kV und 20 mA betrug eine Minute. Die Beurteilung erfolgte semi-quantitativ unter dem Stereomikroskop. Die vergleichende Bewertung der Diagnostikmethoden wurde anhand der Genauigkeitsparameter Sensitivität, Spezifität, Akkuratheit, dem positiven und negativen Vorhersagewert und dem Rangkorrelationskoeffizienten nach Spearman vorgenommen. Um Aussagen über

die Brauchbarkeit der Diagnostikmethoden zu erhalten, wurde die positive ( $LR^+$ ) und negative ( $LR^-$ ) Likelihood Ratio bestimmt.

Die vorliegenden Resultate zeigten, dass mit einem Fluoreszenzverlustwert ( $\Delta F$ ) von  $< -14\%$  auf dem Grenzwert-Niveau von  $-5\%$  und  $< 0\%$  auf dem Grenzwert-Niveau von  $-49\%$  eine Dentinkaries definiert wird. Die QLF-Parameter Area und  $\Delta Q$  konnten ebenfalls zur okklusalen Kariesdiagnostik verwendet werden. So spiegelte ein Area-Wert von  $\geq 4,3\text{ mm}^2$  auf dem Grenzwert-Niveau von  $-13\%$  und  $> 0\text{ mm}^2$  auf dem Grenzwert-Niveau von  $-40\%$  eine Dentinbeteiligung wider. Für  $\Delta Q$  konnte eine Dentinkaries bei Werten von  $\leq -94,3\text{ mm}^2\%$  auf dem Grenzwert-Niveau von  $-14\%$  und von  $< 0\text{ mm}^2\%$  auf dem Grenzwert-Niveau von  $-44\%$  definiert werden.

Nach Kombination aller drei QLF-Parameter wurde eine Sensitivität von  $86,4\%$  und eine Spezifität von  $90,6\%$  ermittelt. Die visuelle Untersuchung nach Ekstrand et al. (1997) erzielte mit  $68,2\%$  eine relativ hohe Sensitivität, die sich jedoch zu Lasten der Spezifität mit nur  $87,5\%$  auswirkte. Die Röntgendiagnostik erreichte eine Sensitivität von  $68,2\%$  und eine Spezifität von  $67,7\%$ . Die Betrachtung der Werte für die Likelihood Ratio, die eine Aussage über die klinische Brauchbarkeit einer Testmethode treffen, führte ebenfalls zur Favorisierung der Kombination der QLF-Parameter. Mit Werten von  $9,21$  für  $LR^+$  und  $0,15$  für  $LR^-$  konnte das Verfahren als „sehr gute“ Methode eingestuft werden. Die visuelle Untersuchung ließ sich anhand des  $LR^+$ -Wertes von  $5,45$  als klinisch einsetzbar charakterisieren. Der  $LR^-$ -Wert von  $0,36$  signalisierte jedoch, dass bei einer fehlenden okklusalen Dentinkaries viele falsch negative Befunde erhoben werden. Die LR-Werte ( $LR^+ = 2,11$ ;  $LR^- = 0,47$ ) wiesen die Röntgendiagnostik als begrenzte Methode zur Okklusalkariesdiagnostik aus.

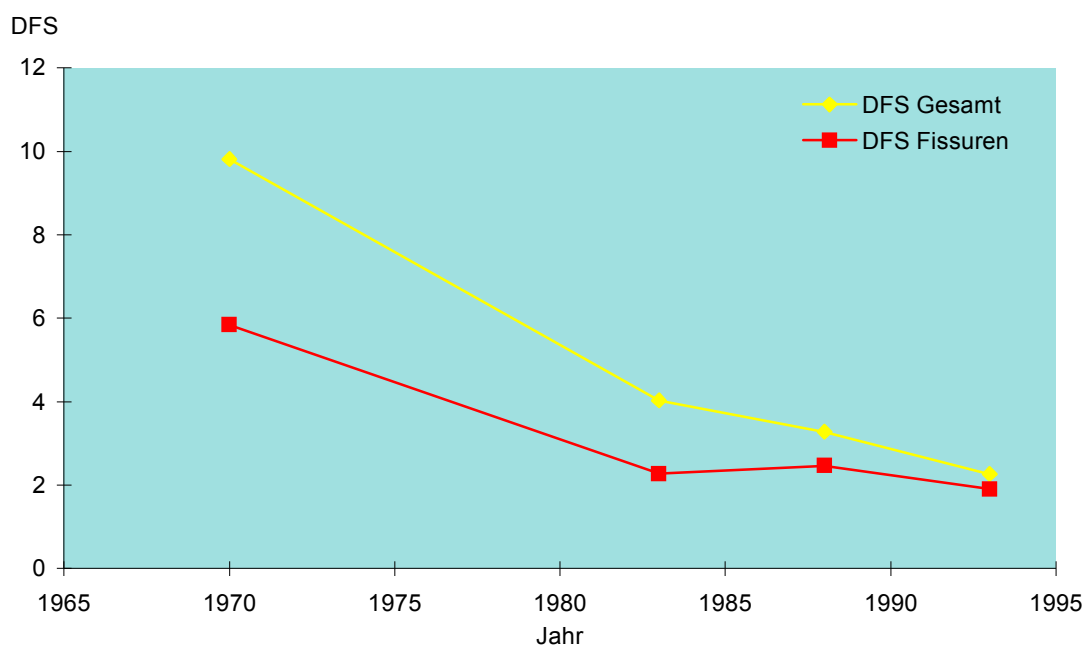
Im Ergebnis der vorliegenden In-vitro-Studie kann QLF nach der visuellen Basis-Diagnostik als ergänzendes Verfahren zur Detektion okklusaler Dentinläsionen empfohlen werden. Das Verfahren ist gegenwärtig aufgrund der sehr zeitaufwändigen und teilweise komplizierten Handhabung vorerst wissenschaftlichen Fragestellungen vorbehalten. In der zahnärztlichen Praxis stellt die röntgenografische Untersuchung vorläufig die Diagnostikmethode der Wahl dar, um versteckte Dentinläsionen ergänzend zur visuellen Untersuchung zu detektieren.

Die gewonnenen Erkenntnisse zur Nutzung der QLF-Parameter  $\Delta F$ , Area und  $\Delta Q$  und die daraus resultierenden Kriterien müssen in nachfolgenden klinischen Untersuchungen einer weiteren Prüfung unterzogen werden.

## 2 Literaturübersicht

### 2.1 Epidemiologie und klinisches Erscheinungsbild der Okklusalkaries

Durch deutliche Veränderungen des Mundgesundheitsverhaltens sowie die breite Verfügbarkeit fluoridierter Zahnpasten konnte seit den 80er Jahren ein drastischer Rückgang der Kariesverbreitung in der kindlichen und jugendlichen Population westlicher Industrienationen beobachtet werden (Glass, 1982; Steiner et al., 1994; Bratthall et al., 1996; Marthaler et al., 1996). Im Zeitraum von 1989 bis 1994 wurde auch bei 12-jährigen deutschen Kindern ein Kariesrückgang von 3,8 auf 2,5 DMFT in den neuen Bundesländern und von 4,1 auf 2,6 DMFT in den alten Bundesländern verzeichnet. Zahn- und zahnflächenbezogene Analysen des Kariesbefalls zeigten zeitgleich zum sogenannten „caries decline“ eine Konzentration der vorhandenen Karies auf die Molaren, wobei die Okklusalfläche die am häufigsten betroffene Zahnfläche ist (Abb. 1). In Abhängigkeit vom Alter der untersuchten Populationen entfallen zwischen 50 und 85 % des Gesamtkariesbefalls auf die Fissuren und Grübchen (Steiner et al., 1994; Heinrich-Weltzien et al., 1997, 2001; Kühnisch et al., 2001). In einer von Heinrich-Weltzien et al. (1998) im Ennepe-Ruhr-Kreis durchgeführten Studie wurden bei 8-jährigen 96,0 % der kariös befallenen Flächen an den Molaren aufgefunden; davon entfielen allein 60,6 % auf die Okklusalflächen.



**Abb. 1:** Verteilung kariöser und gefüllter Zahnflächen bei 12-jährigen Zürcher Schülern im Zeitraum von 1970 bis 1993 nach Steiner et al. 1994

Parallel zu diesem kariesepidemiologischen Trend hat sich das klinische Erscheinungsbild der Okklusalkaries verändert. Der kariöse Prozess vollzieht sich dabei lange Zeit

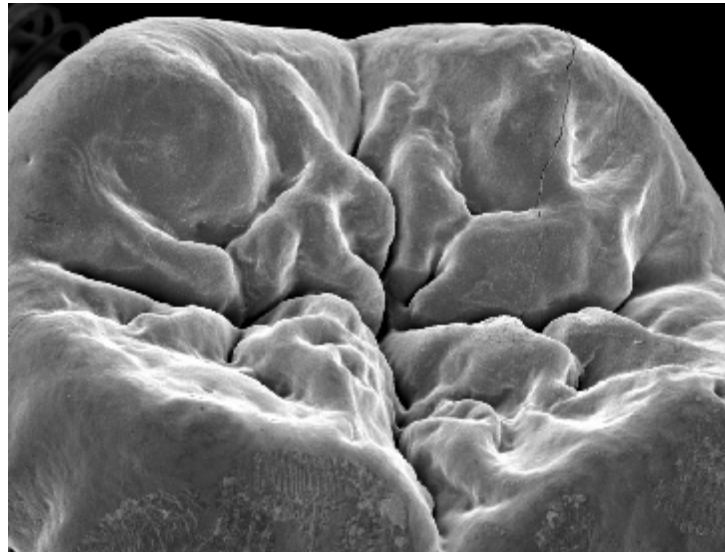


unter einer klinisch intakt erscheinenden Schmelzschicht, wodurch selbst ausgeprägte Dentinläsionen maskiert werden können, welche vorerst lediglich röntgenografisch diagnostiziert werden können (Weerheijm et al., 1989; Pine und ten Bosch, 1996). Für dieses klinische Erscheinungsbild der Okklusalkaries wurde im englischen Sprachraum mit dem Begriff „hidden caries“ also „versteckte Karies“ geprägt (Weerheijm et al., 1992b).

Die Diagnostik der Okklusalkaries wird durch das Vorhandensein von Verfärbungen unterschiedlicher Ätiologie deutlich erschwert. Prävalenzraten verfärbter Fissuren von 18,5 bis 23,5 % bei 8- und 14-jährigen signalisieren die Bedeutung des Problems (Kühnisch, 1998; Kühnisch et al., 2001). Marthaler et al. konnten bereits 1990 aufzeigen, dass innerhalb von vier Jahren gesunde, nicht verfärbte Fissuren mit einer Wahrscheinlichkeit von 14 bis 22 % kariös wurden, während diese bei dunkelbraun oder schwarz verfärbten Fissuren 42 bis 54 % betrug. Für die hohe Kariesanfälligkeit des Fissurenreliefs der bleibenden Molaren werden verschiedene Gründe angeführt:

- Bis zur Okklusionsfindung kommt es zur erhöhten Plaqueakkumulation in den Fissuren (Carvalho et al., 1989). Die Reinigung der Okklusalfäche ist erschwert, da sich ausgedehnte Bereiche der Fissur während des Zahndurchbruchs einer effektiven Zahnreinigung entziehen.
- Es besteht eine erhöhte Kariesanfälligkeit des Schmelzes in den ersten Jahren nach dem Durchbruch, da die posteruptive Schmelzreifung noch nicht abgeschlossen ist (Crabb, 1976).
- Die komplizierte Fissurenmorphologie erschwert die Reinigung des Fissurenfundus (Abb. 2), so dass eine frühzeitige Kariesinitiation gegeben ist (König, 1963, 1966).
- Die im Fissurenfundus vorhandene geringe Schmelzdicke von lediglich 0,2 mm bietet nur eine kurzzeitige Barriere vor der Kariesinitiation im Vergleich zum Glattflächen- und Höckerbereich (Rohr et al., 1991)
- Zur Kariesinitiation in Fissuren und Grübchen sind nach Anderson et al. (1993) nur 3.000 koloniebildende Einheiten von Mutans Streptokokken je ml Speichel erforderlich, während die Auslösung einer Glattflächenkaries die Keimzahlhöhe von 43.000 koloniebildenden Einheiten je ml Speichel voraussetzt.

**Abb. 2:** Rasterelektronenmikroskopische Aufnahme (13-fache Vergrößerung) der Okklusalfäche eines bleibenden Molaren mit Darstellung des zerklüfteten Fissurenreliefs, das ideale Bedingungen für eine mikrobielle Besiedelung darstellt



## **2.2 Methoden der Kariesdiagnostik**

### **2.2.1 Taktile und visuelle Kariesdiagnostik**

Die traditionellen Instrumentarien zur Kariesdiagnostik sind seit Gründung des zahnärztlichen Berufsstandes die zahnärztliche Sonde, der Spiegel und eine ausreichende Lichtquelle. Eine kariöse, behandlungsbedürftige Läsion im Fissurenbereich wird in den Lehrbüchern der Konservierenden Zahnheilkunde seit Black (1924) durch das „Hängenbleiben einer mit mäßigem Druck in die Fissur eingeführten, spitz auslaufenden Sonde, die nur unter Zuganwendung wieder entfernt werden kann“ definiert (u. a. Jackson, 1950; Künzel, 1979). Dass solch ein Befund nicht allein durch eine Karies hervorgerufen werden kann, zeigten bereits in den 50er Jahren Parfitt (1954) sowie Miller und Hobson (1956). Wichtigste Faktoren, die eine Retention der Sonde begünstigen, sind der Durchmesser der Sondenspitze, der ausgeübte Sondierungsdruck, sowie die Morphologie der Fissur. Unter Berücksichtigung des Prozesscharakters und der Möglichkeit einer re- oder remineralisationsfördernden Beeinflussung von kariösen Läsionen geriet die taktile Kariesdiagnostik zunehmend in Kritik. Neben den bereits genannten Gründen konnten Bergman und Lindén (1969) auch eine Schädigung der Schmelzoberfläche nachweisen. In ihren Untersuchungen lösten sie durch Sondierung traumatische Defekte von 0,1 bis 2,0 mm Durchmesser aus. Ekstrand et al. (1987) zeigten die Oberflächenzerstörung an Okklusalfächen bei gerade durchgebrochenen dritten Molaren auf. Während bei 60 % der sondierten Okklusalfächen eine Hartgewebszerstörung zu finden war, wurden vergleichbare Läsionen lediglich an 7 % der nicht sondierten Zähne aufgefunden. Van Dorp et al. (1988) demonstrierten an Zähnen mit einer artifiziell erzeugten Initialkaries im Fissurenbereich, dass die Sondierung die Progression von Initialläsion fördert. Die

Umwandlung von Initialläsionen in Kavitationen beobachtete Yassin (1995), wobei die Defektgröße im Zusammenhang mit dem verwendeten Sondierungsdruck stand.

Im Zusammenhang mit der taktilen Kariesdiagnostik wurde auch die Übertragung kariopathogener Mikroorganismen diskutiert. Während Loesche et al. (1979) die Transmission kariogener Keime von infizierten in sterile Fissuren mit der zahnärztlichen Sonde nachwies, zeigten Hujoel et al. (1995), dass eine Keimübertragung durch Sondierung für die Kariesinitiation nur eine sehr geringe Bedeutung hat. Untersuchungen von Lussi (1993) zeigten weiterhin, dass der Gebrauch der zahnärztlichen Sonde zu keinerlei diagnostischem Gewinn bzw. keiner Verbesserung im Vergleich zur alleinigen visuellen Befundung führte. Daher wird heute eine mit großer Sorgfalt und drucklos angewendete stumpfe Sonde nur noch zur Plaqueentfernung aus der Fissur empfohlen (Carvalho et al., 1989; Basting und Serra, 1999; Poorterman et al., 2000). Opazitäten der Zahnoberfläche, die als klare Indikatoren eines kariösen Prozesses herausgestellt wurden, konnten durch Lufttrocknung sicherer diagnostiziert werden (Lussi, 1993). Deshalb wird die Verwendung des Luftbläfers anstelle der zahnärztlichen Sonde nach zuvor erfolgter Zahnreinigung als wichtigste Voraussetzung für die visuelle Kariesdiagnostik gefordert (Ismail, 1997).

Im Ergebnis dieser Untersuchungen und bedingt durch das veränderte klinische Erscheinungsbild der Okklusalkaries wurde verstärkt nach visuell erkennbaren Zeichen der kariösen Zerstörung gesucht. Dabei fokussiert die visuelle Inspektion vorrangig auf die Detektion von kariös bedingten Demineralisationszeichen und Verfärbungen im Bereich der Fissur. Von König wurde bereits 1966 die Beziehung zwischen verfärbten Fissuren und der Wahrscheinlichkeit einer kariösen Dentinbeteiligung aufgezeigt. Ekstrand et al. (1995, 1997, 1998) knüpften an diese Untersuchungen an und entwickelten visuelle Diagnostikkriterien für die okklusale Kariesdetektion. Als klinische, visuell diagnostizierbare Zeichen einer Schmelzläsion wurden Opazitäten oder Verfärbungen im Fissurenbereich, die auf der feuchten Zahnoberfläche kaum, auf der luftgetrockneten Zahnoberfläche hingegen deutlich sichtbar sind, verifiziert. Lokalisierte Schmelzeinbrüche im opaken oder verfärbten Schmelz sind neben der Kavitation zuverlässige Kriterien für das Vorliegen einer Dentinkaries.

Die Suche nach verbesserten klinischen Diagnostikmethoden wurde von Untersuchungen zur Güte bzw. Validität der visuellen und taktilen Kariesdiagnostik begleitet. In den meisten Studien wurde die visuelle Untersuchungsmethode durch die histologische Befundung von Schliffen validiert. Verschiedene Autoren fanden für die visuelle

Diagnostik der Okklusalkaries eine niedrige Sensitivität und hohe Spezifität auf (Tab. 1). Eine mittlere Spezifität von etwa 0,93 zeigt, dass nahezu alle gesunden Okklusalflächen korrekt diagnostiziert wurden. Da in vielen Populationen nur eine geringe Kariesverbreitung zu finden ist, ist diese Beobachtung insofern bedeutsam, da gesunde Zahnflächen vor einer verfrühten restaurativen Behandlung mit adäquaten Präventivmaßnahmen auch über Jahre gesund erhalten werden können. Auf dem diagnostischen Niveau einer Dentinläsion (D<sub>3</sub>-Niveau) variiert die Sensitivität zwischen 3 und 50 %; somit werden zwischen 50 und 97 % aller kariös erkrankten Okklusalflächen nicht erkannt. Okklusale Läsionen mit klinisch intakter Oberfläche wurden signifikant häufiger nicht korrekt diagnostiziert als Okklusalflächen mit kleinen Kavitationen (Lussi, 1993, 1996).

**Tabelle 1:** Sensitivität und Spezifität der visuellen Kariesdiagnostik an der Okklusalfäche, die im Rahmen von In-vitro- und In-vivo-Studien auf dem diagnostischen D<sub>3</sub>-Niveau ermittelt wurden

Autor	Sensitivität	Spezifität
Ferreira Zandoná et al. 1998b	0,03	1,00
Lussi 1993	0,12	0,93
Lussi et al. 1995	0,12	0,93
Verdonschot et al. 1992	0,13	0,94
Verdonschot et al. 1999	0,50	0,86

### 2.2.2 Röntgenografische Kariesdiagnostik

Die röntgenografische Kariesdiagnostik hat eine vergleichbar lange Tradition wie die diagnostische Verwendung ionisierender Strahlen in der Medizin. Bereits 1910 beschrieb Davidsohn den zu erwartenden Nutzen röntgenografischer Untersuchungen für die Kariesdiagnostik. Cheyne und Horne berichteten 1948, dass etwa 30 % der vorhandenen Karies ohne Röntgenkontrolle nicht erfasst wird.

Die röntgenografische Untersuchung hat heute ihren festen Platz in der täglichen Praxis (Weerheijm et al., 1992b; Lussi et al., 1995; Ricketts et al., 1995a, 1995b). Durch die von Raper (1925) beschriebene Bissflügelaufnahme zur frühzeitigen Diagnostik der Ap-

proximalkaries, wurde die Möglichkeit zur Einschätzung des Ausmaßes klinisch nicht sichtbarer Läsionen geschaffen.

Die Weiterentwicklung der Qualität von Filmmaterialien und Röntengeräten führte in den 60er Jahren des vorigen Jahrhunderts zur Anfertigung von qualitativ hochwertigen intraoralen Röntgenbildern. Durch die gesundheitlichen Gefahren ionisierender Strahlen wurde verstärkt die Entwicklung von empfindlicheren Filmmaterialien gefordert, die eine Reduktion der Strahlendosis erlaubten. Die Erhöhung der Filmempfindlichkeit führte ungünstiger Weise in den 70er und 80er Jahren, in einer Zeit, in der sich das klinische Erscheinungsbild kariöser Läsionen durch die breite Verfügbarkeit von Fluoriden verändert hatte, zu erheblichen Qualitätseinbußen. Besonders die weniger deutliche Abgrenzbarkeit der kariösen Läsionen von der gesunden Zahnhartsubstanz bzw. ihre geringe Radioluzenz erschwerte die Diagnostik in nicht unerheblichem Maße (Pitts, 1996).

Seit 2000 sind Kodak Insight Dental Filme (Eastman Kodak Company, USA) auf dem Markt, die eine weitere Reduzierung der Strahlendosis ohne Verminderung der Diagnostikqualität ermöglichen sollen. Ludlow et al. (2001) verglichen D-, E- und F-Speed-Filme auf ihre Eignung zur Diagnostik der Approximalkaries. Dabei wurden entsprechend den Erwartungen an die E- und F-Speed-Filme geringere Strahlendosen verwendet. Um die Güte der Röntgendiagnostik zu berechnen, wurde die Receiver Operating Characteristic-Analyse (ROC) mit Berechnung der Flächen unter den ROC-Kurven ( $A_z$ ) durchgeführt. Die Autoren beobachteten zwar keine unterschiedliche Auflösung bei den verschiedenen Filmen, jedoch waren bei niedriger Dosierung der Röntgenstrahlen Kontrastunterschiede festzustellen. Dies spiegelte sich auch in den  $A_z$ -Werten für die einzelnen Filmarten wider. Während für Kodak Ultra-speed (D-Speed-Film) ein durchschnittlicher  $A_z$ -Wert von 0,88 erzielt wurde, lagen die  $A_z$ -Werte für Kodak Ektaspeed Plus (E-Speed-Film) bzw. Kodak Insight (F-Speed-Film) bei 0,85 bzw. 0,84. Da diese Unterschiede jedoch nicht signifikant waren, wurde von den Autoren aufgrund der niedrigen Strahlenbelastung für den Patienten die Verwendung von Kodak Insight-Filmen empfohlen. Nair und Nair (2001) konnten trotz Verminderung der Strahlendosis um 20 % für Insight-Filme gegenüber Ektaspeed Plus-Filmen keine signifikanten Unterschiede in der Diagnostik der frühen Approximalläsionen feststellen.

Bissflügelaufnahmen sind heute unumstritten das wichtigste diagnostische Hilfsmittel zur Detektion der Approximalkaries. Vor allem die Diagnostik von kleinen approximalen Läsionen, deren Remineralisation durch präventive Maßnahmen erreicht werden kann, rechtfertigt die Anfertigung von Bissflügelaufnahmen (Pitts und Kidd, 1992).

Nach Ansicht von Sobkowiak et al. (1983) treten Veränderungen der Röntgenopazität des Schmelzes bei Mineralverlusten von 10 bis 20 % auf.

Für die frühe Diagnostik okklusaler schmelzbegrenzter Läsionen ( $D_{1-2}$ -Läsionen) sind Bissflügelaufnahmen nicht geeignet. Eine Karies im Bereich der Grübchen und Fissuren wird erst dann im Röntgenbild diagnostiziert, wenn der kariöse Prozess bereits ins Dentin fortgeschritten ist (Lussi, 1996). Beim Vorliegen einer Dentinkaries ( $D_{3-4}$ ) ermittelte Lussi (1996) eine Sensitivität von 45 % und bestätigte damit die Forderung von Kidd et al. (1993), Weerheijm et al. (1989, 1992a, 1992b) und Hintze et al. (1994), dass Bissflügelaufnahmen für die Diagnostik der „hidden caries“ hilfreich sind, und neben der Befundung der Approximalflächen auch stets eine Beurteilung der Okklusalfächen vorgenommen werden muss. Ricketts et al. (1995a) ermittelten eine mittlere Sensitivität von 62 % und eine Spezifität von 76 % für die diagnostische Güte von Bissflügelaufnahmen. Im Vergleich zur visuellen Kariesdiagnostik mit einer Sensitivität von 48,7 % und einer Spezifität von 84,9 % wurden signifikant mehr Dentinläsionen diagnostiziert. Wie die Autoren in einer weiteren Studie klar herausstellten, korreliert die Radioluzenz im Dentin eindeutig mit der bakteriellen Infektion des Dentins und ist somit ein sicherer Prädiktor für die erforderliche restaurative Therapie (Ricketts et al., 1995b). Im Ergebnis der vorliegenden Resultate forderten die Autoren, die Diagnostik der Okklusalkaries mit Bissflügelaufnahmen als ein die klinische Diagnostik ergänzendes Verfahren und weniger als eine sensitive Diagnostikmethode anzusehen.

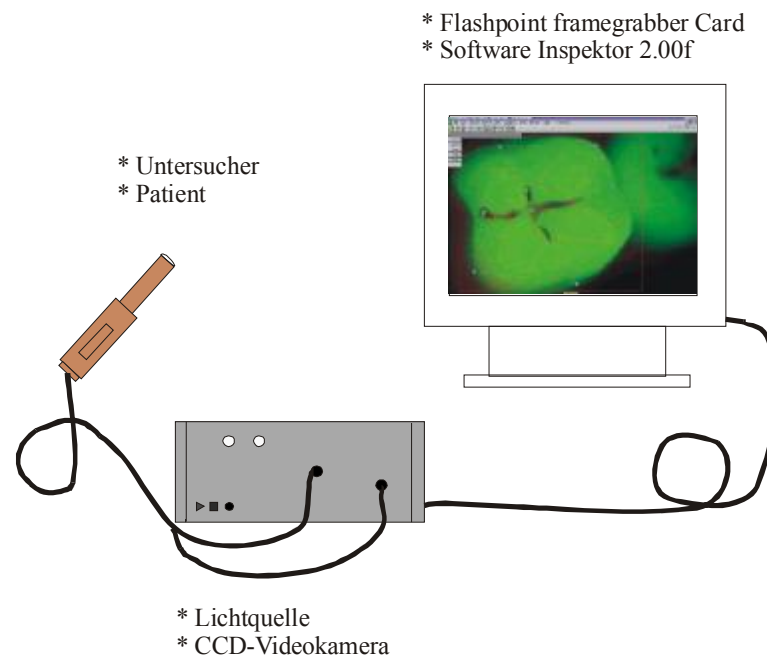
### **2.2.3 Zum Einsatz der Quantitativen Lichtinduzierten Fluoreszenzmessung (QLF) als Kariesdiagnostikmethode**

#### **2.2.3.1 Physikalische Grundlagen von QLF**

Bereits 1911 wurde von Stübel die Fluoreszenz von Zähnen bei Bestrahlung mit ultravioletttem Licht erkannt. Benedict (1928) beobachtete eine höhere Abgabe von Fluoreszenzlicht durch das Dentin im Vergleich zum Zahnschmelz, und dass eine Initialläsion nicht fluoresziert. Die Nutzung der Laser-Autofluoreszenz (LAF) zur Bestimmung des Mineralverlustes wurde erstmalig von Bjelkhagen et al. (1982) und Sundström et al. (1985) beschrieben. Diese Studien zeigten in vivo die Erhöhung des Kontrastes zwischen initial kariösen Läsionen und gesundem Schmelz bei der Untersuchung mit LAF im Vergleich zu normalem weißen Licht. Bei der Verwendung von weißem Licht wurden die Läsionen durch die Reflexion der umgebenden Zahnhartsubstanz verdeckt, während sie mit LAF deutlicher gesehen wurden. Die LAF-Methode verwendete einen

starken Argon-Laser, der mit blauem Licht einer Wellenlänge von 488 nm (bei 50 mW entspricht das ca. 20 mW/cm<sup>2</sup> an der Zahnoberfläche) die Zähne bestrahlte. Ein gelber Filter ( $\lambda \geq 520$  nm), der das reflektierte und zurück gestreute Licht filterte, wurde vor dem Auge des Untersuchers platziert, um die Läsion zu betrachten. Von Hafström-Björkman et al. (1992) wurde ein quantitatives LAF-System zur Bestimmung des Mineralverlustes vorgestellt. Diese Methode wurde zu einem intraoral nutzbaren System weiterentwickelt, um Veränderungen des Mineralgehaltes von frühen Schmelzläsionen in vivo beurteilen zu können (de Josselin de Jong et al., 1995).

Heute stehen ein Labor-System und eine portable intraorale Kamera für QLF zur Verfügung (Al-Katheeb et al., 1997a; Lagerweij et al., 1999). In diesen Systemen wurde der Laser durch eine Xenon-Bogenlampe ersetzt und mit einem Bandpass-Filter kombiniert, um die Bestrahlung der Zähne mit blau-violetttem Licht zu ermöglichen (Abb. 3).



**Abb. 3:** Schematische Darstellung des portablen QLF-Systems

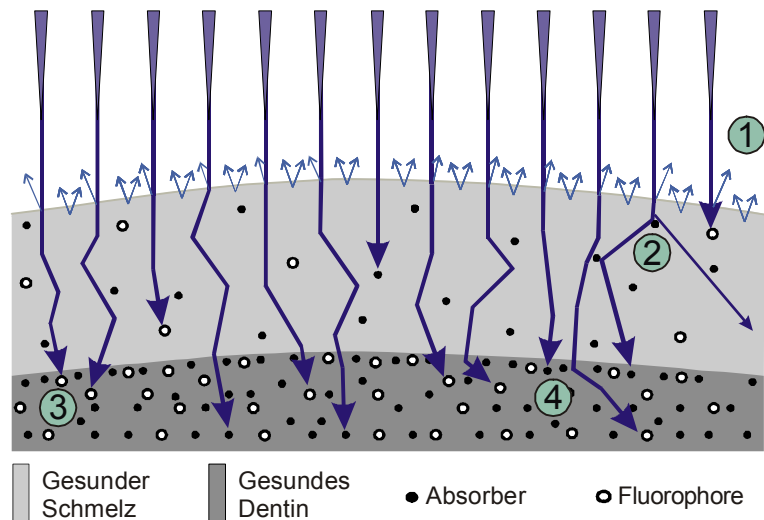
QLF nutzt die natürliche Fluoreszenz der Zähne. Die Applikation von Farbstoffen oder anderen Hilfsmitteln ist nicht notwendig. Während bei normalem Tageslicht Initialläsionen an Glattflächen als weißer Fleck auf der Zahnfläche imponieren, wird mit QLF die Initialläsion als dunkler Fleck dargestellt. Die dunkle Erscheinung der White-spot-Läsion wird durch Änderungen der Streuungseigenschaften in der kariösen Läsion erklärt (de Josselin de Jong et al., 1996; ten Bosch, 1996). Im Vergleich zum umgebenden gesunden Schmelz ist der Streuungs-Koeffizient einer White-spot-Läsion um den Faktor 5 bis 10 erhöht (Spitzer und ten Bosch, 1977). Dies ist durch die Auflösung der

kristallinen Struktur und die damit verbundene Zunahme innerer Reflexionsflächen bedingt.

In Abbildung 4 wird das physikalische Grundprinzip von QLF im gesunden Schmelz schematisiert wiedergegeben.

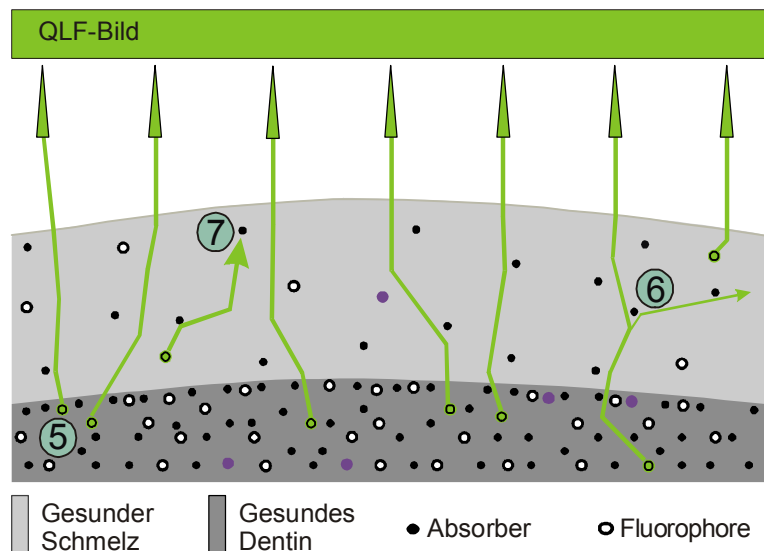
**Abb. 4a:** Physikalische Grundlagen von QLF am gesunden Schmelz - Belichtungsvorgang

- ① Reflexion
- ② Streuung
- ③ Fluoreszenzanregung
- ④ Absorption



**Abb. 4b:** Physikalische Grundlagen von QLF am gesunden Schmelz - Fluoreszenzbildentstehung

- ⑤ Streuung
- ⑥ Absorption
- ⑦ Emission von Fluoreszenzlicht

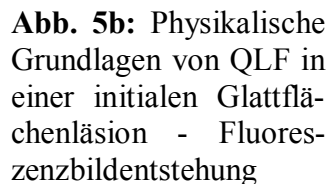


Prinzipiell wird Licht, das auf die Zahnoberfläche trifft, zu einem geringen Teil reflektiert (Abb. 4a ①). Reflexionen treten jedoch vermehrt auf, je größer der Einfallswinkel von 90° in Relation zur Oberfläche abweicht. An gekrümmten Zahnflächen sind Reflexionen nicht auszuschließen, werden jedoch vernachlässigt. Der proportional größte Anteil Licht wird durch den Zahnschmelz in das Dentin weitergeleitet. Dabei unterliegt es Streuungs-, Fluoreszenzanregungs- und Absorptionsprozessen (Abb. 4a ② bis ④). Durch die niedrigere Anzahl von Fluorophoren im Zahnschmelz im Vergleich zum Dentin besitzt Dentin eine höhere Eigenfluoreszenz (Abb. 4b ⑤ und ⑥). Trifft das von

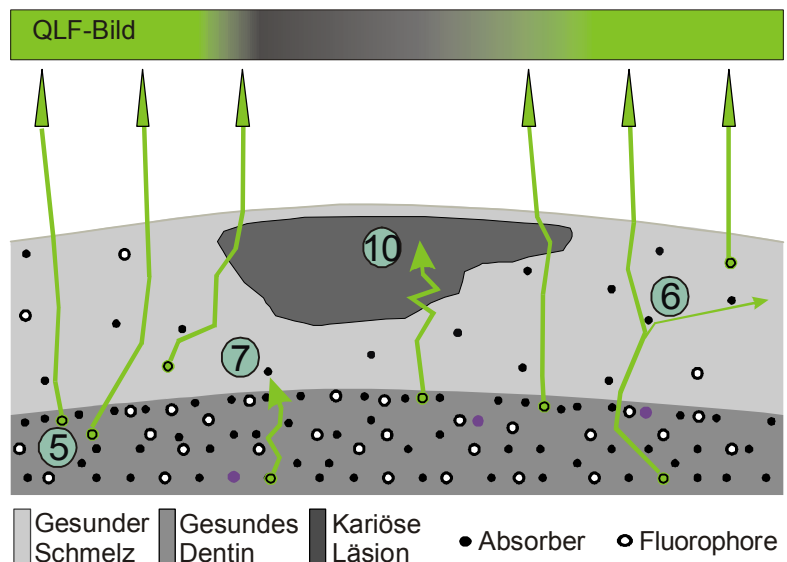


Anhand von Abbildung 5 sollen die physikalischen Grundlagen bei der Untersuchung einer initialen Schmelzläsion erklärt werden.

- ① Reflexion
- ② Streuung
- ③ Fluoreszenzanregung
- ④ Absorption
- ⑧ Reflexion und
- ⑨ Absorption im  
Läsionsbereich



- ⑤ Streuung
- ⑥ Absorption
- ⑦ Emission von Fluoreszenzlicht
- ⑩ Absorption im Läsionsbereich



Das einfallende Licht unterliegt an gesunden Bereichen der Zahnoberfläche den optischen Prozessen Reflexion, Streuung und Absorption (Abb. 5a ① bis ④). Das auf die Läsion auftreffende Licht wird stärker reflektiert und zusätzlich mehr gestreut (Abb. 5a ⑧). Nur wenig Licht kann durch die Läsion hindurch die Schmelz-Dentin-Grenze oder das Dentin erreichen. Die Abgabe von Fluoreszenzlicht verläuft in den gesunden Bereichen des Schmelzes wie zuvor (Abb. 4b) beschrieben (Abb. 5b ⑤ bis ⑦). Im Bereich der Initialläsion wird das vom Dentin oder Schmelz ausgehende Fluoreszenzlicht ebenso wie das Anregungslicht absorbiert, so dass im Ergebnis eine dunkle Läsion umgeben von einem stark leuchtenden gesunden Schmelz wahrgenommen wird (Abb. 5a ⑨, Abb. 5b ⑩).

Von de Josselin de Jong et al. (1996) wurde dieses theoretische Streuungsmodell als Erklärung der lichtinduzierten Fluoreszenz bestätigt. Die Autoren führten ein einfaches Experiment durch: Es wurden Bilder von einem Schmelz-Plättchen mit einer artifiziellen Initialläsion unter weißen Lichtverhältnissen und bei Verwendung von lichtinduzierter Fluoreszenz angefertigt. Um die An- oder Abwesenheit von Dentin und der Schmelz-Dentin-Grenze zu simulieren, wurde das Schmelz-Plättchen entweder auf einem hellen fluoreszierenden weißen Untergrund oder einem nicht fluoreszierenden schwarzen Untergrund platziert. Das In-vitro-Experiment ergab folgende Resultate:

1. Eine Läsion, die mit weißem Licht auf einem weißen Untergrund untersucht wurde, erschien weißer als der umgebende „weiße“ Schmelz. Der Kontrast zwischen Läsion und gesundem Schmelz war gering.
2. Eine Läsion, die mit weißem Licht auf einem dunklen Untergrund betrachtet wurde, erschien als ein weißer Fleck umgeben von dunklem gesundem Schmelz. Der Kontrast war hoch.
3. Eine Läsion, die mit lichtinduzierter Fluoreszenz auf einem weißen Untergrund betrachtet wurde, erschien dunkel im Vergleich zum stark leuchtenden umgebenden Schmelz. Der Kontrast war hoch.
4. Eine Läsion, die mit lichtinduzierter Fluoreszenz auf einem schwarzen Untergrund betrachtet wurde, erschien dunkel und konnte nicht vom umgebenden gesunden Schmelz abgegrenzt werden.

Die Punkte 1 und 3 beschreiben die normale Situation eines Zahnes mit Dentin unter dem Schmelz, der mit weißem Licht oder lichtinduzierter Fluoreszenz untersucht wird. Obwohl die Visualisierung einer Läsion durch Fluoreszenzlicht und weißes Licht vor-

rangig auf das Streuungsphänomen in der Zahnschmelz zurückzuführen ist, verhalten sich die visuellen Effekte sehr verschieden. Die Anwesenheit von Dentin unter dem Schmelz wird benötigt, um einen guten Fluoreszenzkontrast zwischen der Läsion und dem gesunden Schmelz zu erzielen.

Die Beziehungen, die zwischen dem Fluoreszenzverlust/-anstieg und Mineralverlust/-zuwachs einer Läsion gefunden wurden, reflektierten eine enge Korrelation zwischen dem Mineralgehalt in einer Läsion und dem Streuungs-Koeffizienten (Hafström-Björkman et al., 1992; Emami et al., 1996; Al-Katheeb et al., 1997a, 1997b; Ando et al., 1997; ten Cate et al., 1999). Die Korrelation ( $r$ ) von QLF-Befunden und dem Mineralgehalt lag zwischen 0,76 und 0,97.

### **2.2.3.2 Kariesdetektion mit QLF**

Bisher wurde QLF hauptsächlich zur Detektion erster Zeichen einer kariösen Schmelzläsionen an der gut zugänglichen Glattfläche eingesetzt. Erste In-vitro-Anwendungen von QLF ergaben vielversprechende Resultate. Bjelkhagen et al. (1982) konnten Glattflächenläsionen an extrahierten Molaren mit QLF besser detektieren als mit normalem weißen Licht. Je nach Wahl des Cut-off-Wertes für den Fluoreszenzverlust erzielten Ando et al. (1997) mit QLF an artifiziell erzeugten initialen Läsionen Sensitivitätswerte zwischen 94,2 und 97,8 % sowie Spezifitätswerte zwischen 0 und 100 %. In einer weiteren Studie konnte eine lineare Korrelation von QLF mit der histologisch bestimmten Ausdehnung von Schmelzläsionen und dem Mineralverlust herausgearbeitet werden (Hall et al., 1997). Ando et al. (2001) führten eine In-vitro-Studie an Glattflächenläsionen von Milch- und permanenten Zähnen durch. Dabei wurden Läsionen gleicher Tiefe besser an Milchzähnen als an bleibenden Zähnen detektiert. Die Korrelation mit der transversalen Mikroradiografie (TMR) bezüglich des Mineralverlustes war für Schmelzläsionen von Milchzähnen am höchsten ( $r = 0,88$ ).

Auf dem derzeitigen Entwicklungsstand ist QLF nicht für die Detektion approximaler Läsionen geeignet. Zahnform und Lokalisation approximaler Läsionen unterhalb des Kontaktpunktes erschweren es, Licht auf die Zahnfläche zu applizieren und zugleich mit der Kamera aufzunehmen. Ist eine proximale Läsion noch im initialen Stadium, ist der Kontrast zwischen der initial kariösen Läsion und dem umgebenden gesunden Schmelz sehr gering. Nur wenn der kariöse Prozess das Dentin erreicht hat, ist der Kontrast stark genug, um optisch registriert zu werden; eine Frühdiagnostik erscheint daher unwahrscheinlich (Eggertson et al., 1999).

Für den Einsatz von QLF zur Kariesdiagnostik an Füllungsrandern wurden verschiedene Untersuchungen zur Detektion, Quantifizierung und zum Monitoring durchgeführt. Die besten Ergebnisse wurden bisher bei artifiziellen Läsionen der Schmelzoberfläche angrenzend an Amalgam-Füllungen oder zahnfarbenen Restaurationen erzielt (DeSchepper et al., 1996; Hall et al., 1996; Tranæus et al., 1997a). All diese Studien zeigten die Möglichkeit, mit QLF den Fluoreszenzverlust sowie das Läsionsgebiet zu quantifizieren.

Die meisten In-vitro-Studien an der Okklusalfäche setzten QLF zur Detektion von initialen Läsionen in Fissuren und Grübchen ein (Ferreira Zandoná et al., 1998a, 1998b; Ando et al., 1999). Ferreira Zandoná et al. (1998b) verglichen QLF mit der Farbstoffverstärkten Laserfluoreszenz (DELFI) und der visuellen Befundung. Die Läsionsan- oder -abwesenheit wurde histologisch und mit der konfokalen Laserscanningmikroskopie (CLSM) untersucht. Die Ergebnisse zeigten, dass DELFI eine höhere Sensitivität und eine ähnliche Spezifität wie QLF oder die visuelle Untersuchung aufwies. Für die visuelle Diagnostik konnten ähnlich gute Resultate erzielt werden, wenn die farblichen Veränderungen der Okklusalfäche beim Vorhandensein einer Karies berücksichtigt wurden. Ando et al. (1999) verglichen QLF mit der visuellen Untersuchung nach Ekstrand et al. (1997), der elektrischen Widerstandsmessung (ECM) und der Laserfluoreszenz mit dem DIAGNOdent-Gerät. Dabei konnte für QLF eine Sensitivität von etwa 88 % im Schmelz ( $D_{1-2}$ ) und 92 % im Dentin ( $D_{3-4}$ ) ermittelt werden. Die Spezifität betrug für schmelzbegrenzte Läsionen nur 69 % und bei Erreichen des Dentins 56 %. Die Möglichkeit mit QLF die Läsionsfläche und den Fluoreszenzverlust zu quantifizieren, wurde in diesen Studien nicht genutzt. Tranæus et al. (1997b) verglichen erstmalig QLF zur Detektion und Quantifizierung okklusaler Dentinkaries mit der visuellen Inspektion, Bissflügelaufnahmen und ECM. Das Niveau des beobachteten Fluoreszenzverlustes wurde genutzt, um zu entscheiden, ob die Karies in das Dentin vorgedrungen war oder nicht. Auf dem gewählten Grenzwert-Niveau von 20 % Fluoreszenzverlust wies QLF Sensitivitäts- und Spezifitätswerte von 0,71 bzw. 0,73 auf, die im Vergleich zur ECM deutlich niedriger waren (0,93 bzw. 0,98).

### **2.2.3.3 Kariesmonitoring mit QLF**

Um die Effektivität unterschiedlicher präventiver Behandlungsstrategien untersuchen zu können, müssen Läsionen über einen längeren Zeitraum beobachtet werden. Mit QLF erscheint es möglich, die Läsionsfläche (Area) und die Änderung des Fluoreszenzver-

lustes ( $\Delta F$ ) in einer Läsion zu bestimmen. Die Zu- oder Abnahme dieser Parameter reflektiert dabei den Effekt präventiver Therapiemaßnahmen.

Eine klinische Studie zur Detektion und zum Monitoring von initialen Glattflächenläsionen wurde an kieferorthopädischen Patienten nach Entfernung der Brackets durchgeführt. Al-Katheeb et al. (1998) zeigten eine partielle Remineralisation der Läsionen über einen Zeitraum von einem Jahr. Die Autoren stellten fest, dass QLF für ein Monitoring der Glattflächenkaries in vivo geeignet ist und demzufolge zur Evaluation von präventiven Maßnahmen bei Patienten mit erhöhtem Kariesrisiko eingesetzt werden kann. Eine 6-monatige klinische Studie an kariesaktiven Jugendlichen wurde von Tranæus et al. (2001) durchgeführt. In dieser Untersuchung wurde die wiederholte Behandlung mit einem Fluoridlack (Duraphat) mit einer frequenten professionellen Zahnreinigung zur Unterstützung der Remineralisation verglichen. Die Resultate zeigten eine signifikante Verbesserung der QLF-Parameter (Zunahme der Fluoreszenz bzw. Abnahme der Läsionsgröße) in der Fluoridlack-Gruppe. In der Patientengruppe, die eine regelmäßige professionelle Zahnreinigung erhielt, konnten keine signifikanten Änderungen für die Fluoreszenz und Läsionsfläche nachgewiesen werden. Bei Kariesrisiko-Patienten hatte die Fluoridlackapplikation nach 6 Monaten also einen besseren remineralisierenden Effekt als die professionelle Zahnreinigung allein.

Hall et al. (1996) versuchten einen Läsionsrückgang nach der Demineralisation mit einer pH-Zyklus-Prozedur zu quantifizieren. Auf Schmelz-Proben wurden in Angrenzung an eine Amalgam-Füllung in einem kleinen Fenster Läsionen geschaffen. Die Proben wurden mit QLF analysiert, um den initialen Fluoreszenzverlust festzustellen. Dieser wurde mit dem durch TMR ermittelten Mineralverlust verglichen. Die Proben-schliffe für die TMR und der verbleibende Probenrest wurden mit dem gleichen Remineralisationsprotokoll versehen. Der mit QLF gemessene Fluoreszenzzuwachs und der mit der TMR gefundene Mineralzuwachs korrespondierten, so dass angenommen werden kann, dass QLF geeignet ist, Änderungen des Mineralgehaltes von Läsionen im Randbereich von Restaurationen zu beurteilen.

Bisher ist nur eine klinische Studie bekannt, in der Veränderungen der Läsionen an allen Flächen, einschließlich der Okklusalfäche beobachtet wurden (van der Veen et al., 1998). Die vorläufigen Ergebnisse zeigen eine Abnahme der Läsionsgröße und des Fluoreszenzverlustes für einige der Probanden, aber spezifische Daten zu Läsionen in Fissuren und Grübchen sind nicht verfügbar.

### **3 Zielstellung**

Vergleichsuntersuchungen über die Validität der visuellen und röntgenografischen Kariesdiagnostik und QLF an Okklusalfächen sind bislang nur begrenzt verfügbar (Tranæus et al., 1997b; Ferreira Zandoná et al., 1998a, 1998b; Ando et al., 1999). Dabei fehlen jedoch Befunde zur diagnostischen Güte von QLF, die eine eindeutige Differenzierung zwischen einer Schmelz- und Dentinkaries erlauben, und es dem Zahnarzt ermöglichen, eine sichere Therapieentscheidung zwischen invasiver und nicht invasiver Behandlung im differentialdiagnostischen Sinne vorzunehmen.

Mit der vorliegenden In-vitro-Studie sollen folgende Fragen beantwortet werden:

1. Kann mit QLF eine Dentinkaries an der Okklusalfäche sicher diagnostiziert werden?
2. Welcher Grenzwert (threshold) bzw. Fluoreszenzverlust ( $\Delta F$ ) erlaubt eine sichere Differenzierung zwischen einer Schmelz- und Dentinkaries?
3. Welche Rolle spielen die QLF-Parameter „Fläche“ (Area) und Veränderungen des Produktes aus „Fluoreszenzverlust“ und „Läsionsausdehnung“ ( $\Delta Q$ ) für die Diagnostik okklusaler Dentinläsionen?
4. Ist QLF im Vergleich zu den Standard-Methoden visuelle und röntgenografische Untersuchung besser zur Diagnostik der Okklusalkaries geeignet?

## **4 Material und Methoden**

### **4.1 Auswahl und Vorbereitung des Untersuchungsmaterials**

Aus einer Sammlung extrahierter Zähne erfolgte die Selektion von 54 Molaren mit unterschiedlichen Verfärbungen und/oder Opazitäten des Fissurenreliefs. Zähne mit Füllungen, mit Mineralisationsstörungen in Form von Strukturanomalien oder einer kariösen Zerstörung der klinischen Zahnkrone wurden aus der Untersuchung ausgeschlossen. Um anhaftende Weichgewebe, Zahnstein, Plaque und exogene Verfärbungen von der Zahnoberfläche zu entfernen, erfolgte zunächst eine Reinigung der Zähne mit einem Handscaler und anschließend mit dem Pulverstrahlgerät DENTSPLY® Cavitron™ (DENTSPLY DeTrey, Deutschland). Zur Vermeidung von Fäulnisprozessen wurden die gereinigten Proben in einer 0,01 %-igen Natrium-Acid-Lösung ( $\text{NaN}_3$ ) gelagert. Vor den experimentellen Untersuchungen wurde die Okklusalfäche jedes Zahnes fotografisch dokumentiert.

### **4.2 Untersuchungsmethoden**

#### **4.2.1 Visuelle Diagnostik**

Die visuelle Beurteilung der feucht gelagerten Zähne wurde durch zwei unabhängige Untersucher (R. H.-W., J. K.) vor und nach Lufttrocknung von mindestens fünf Sekunden unter Nutzung einer Vergrößerungslupe (4fach) bei standardisierter Beleuchtung durch eine zahnärztliche Operationsleuchte vorgenommen. Die visuelle Diagnostik der Okklusalfächen der Molaren erfolgte anhand der von Ekstrand et al. (1997) definierten Kriterien (Abb. 6).

**Grad 0**

Keine oder leichte Veränderungen der Schmelztransluzenz nach verlängerter Lufttrocknung (> 5 sec.)

**Grad 1**

Opazität oder Braunverfärbung auf der feuchten Oberfläche kaum, aber nach Lufttrocknung deutlich sichtbar



vor Lufttrocknung



nach Lufttrocknung



vor Lufttrocknung



nach Lufttrocknung

**Grad 2**

Opazität oder Braunverfärbung deutlich sichtbar ohne Lufttrocknung

**Grad 3**

Lokaler Schmelzeinbruch im opaken oder verfärbten Schmelz und/oder gräuliche Verfärbung des darunterliegenden Dentins

**Grad 4**

Kavitation im opaken oder verfärbten Schmelz mit Freilegung des darunterliegenden Dentins



**Abb. 6:** Kriterien zur visuellen Beurteilung okklusaler Läsionen nach Ekstrand et al. (1997)



#### 4.2.2 Röntgenografische Untersuchung

Zur Simulation des bukko-lingualen Strahlenverlaufes von Bissflügelaufnahmen, wurde an der Wurzelspitze jedes Molaren ein Acrylat-Blöckchen angebracht, um die Molaren entsprechend positionieren zu können. Von jedem Zahn wurde mit konventioneller Röntgentechnik und Verwendung von Insight Dental Filmen (Eastman Kodak Company, USA) ein Röntgenbild erstellt. Es wurde eine Vorrichtung verwendet, die es ermöglichte, von allen extrahierten Zähnen Aufnahmen mit dem gleichen Fokus-Objekt- und Objekt-Film-Abstand anzufertigen (Abb. 7). Dabei dienten zwei auf Messingringen aufgelegte Glasplatten als Auflagen für den Röntgenfilm bzw. den Zahn. Diese Vorrichtung wurde auf den Tubus eines zahnärztlichen Röntgengerätes (GENDEX DENS-O-MAT, Dental System, Italien) montiert.

**Abb. 7:** Vorrichtung zur standardisierten Anfertigung konventioneller Röntgenbilder



Die Belichtung der Insight-Filme erfolgte mit 0,26 s bei einer Spannung von 65 kV. Mit diesen Belichtungsparametern wurden die Aufnahmebedingungen von Bissflügelaufnahmen simuliert. Alle Filme wurden am gleichen Tag unter standardisierten Bedingungen entwickelt. Die Entwickler- und Fixierlösungen im Entwicklungsautomaten waren eine Woche zuvor erneuert worden.

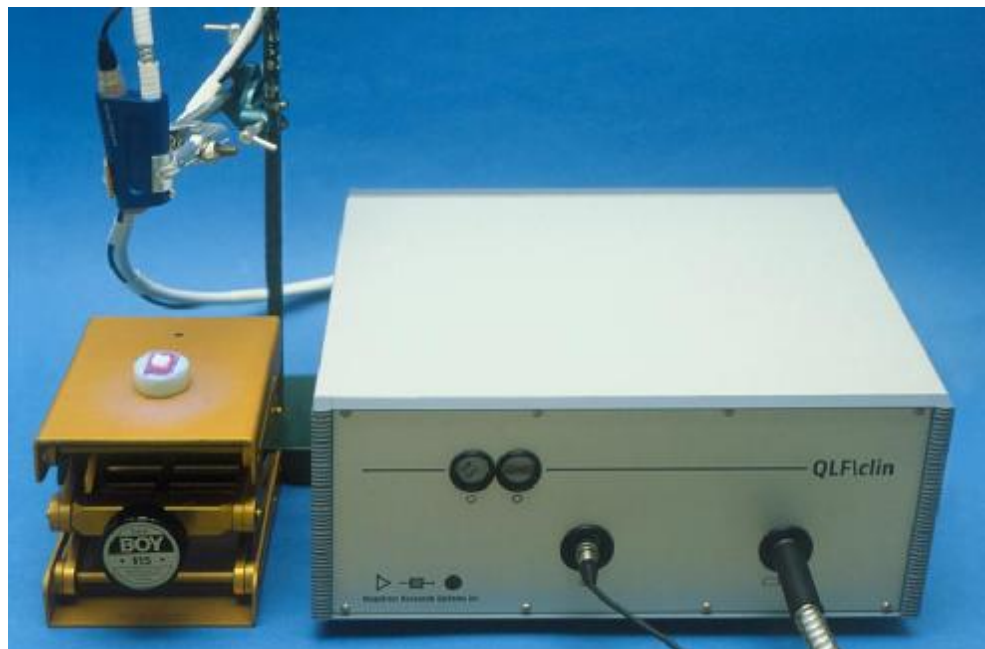
Die Röntgenbilder wurden von zwei Untersuchern (T. O., J. K.) anhand der von Weerheijm et al. (1992a) definierten Kriterien (Tab. 2) bei 4-facher Vergrößerung unter Verwendung der X-Scope Lupe mit Fremdlichtabschirmung (Jordi Röntgentechnik AG, Schweiz) am Lichtkasten beurteilt.

**Tabelle 2:** Kriterien zur röntgenografischen Auswertung von Bissflügelaufnahmen nach Weerheijm et al. (1992a)

Grad	Kriterium
0	Keine Radioluzenz im Dentin unterhalb der okklusalen Schmelzschicht sichtbar
2	Umschriebene Radioluzenz im Dentin unterhalb der okklusalen Schmelzschicht sichtbar
X	Keine röntgenografische Beurteilung möglich

#### 4.2.3 Quantitative Lichtinduzierte Fluoreszenzmessung (QLF)

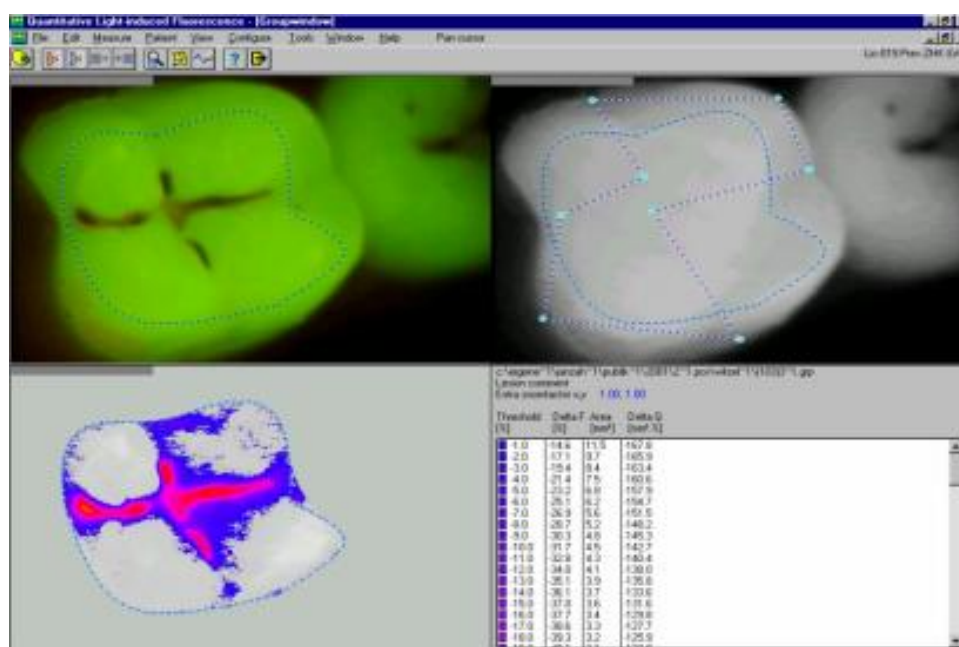
In einem abgedunkelten Raum wurden die Fluoreszenzbilder von den Okklusalfächen aller Molaren mit der Spiegelversion der CCD-Kamera Panasonic WV-KS 152 QLF\clin (Inspektor Research System BV, Niederlande) aufgenommen. Die Molaren wurden mit dem Licht einer Xenonlampe ( $13 \text{ mW/cm}^2$ ) der Wellenlänge von  $370 \pm 80 \text{ nm}$  beleuchtet. Ein vor der Kamera angebrachter Filter garantiert, dass nur vom Zahn zurück gestrahltes Licht ab einer Wellenlänge von  $520 \text{ nm}$  detektiert wird. Um Winkel- und Positionsveränderungen während der Bilderstellung zu vermeiden, wurden die Zähne in einer Silikonmasse fixiert (Abb. 8).



**Abb. 8:** In-vitro-Versuchsaufbau von QLF

Nach forcierter Lufttrocknung von etwa fünf Sekunden wurde durch Justierung des Versuchstisches die Bildschärfe eingestellt. Dieses Vorgehen wird intraoral durch Entfernung oder Annäherung der Kamera an die Zahnoberfläche erzielt. War die größte Bildschärfe erreicht, wurde das Bild im Computer gespeichert. Damit lag von jedem Molaren eine QLF-Aufnahme vor.

Die Bildanalyse erfolgte durch eine kalibrierte Untersucherin (S. I.) mit der QLF-Software-Version 2.00f (Inspektor Research System BV, Niederlande). Dazu wurde an einem Übersichtsbildschirm (Abb. 9) der Auswertungsmodus der QLF-Software (Abb. 10) ausgewählt.

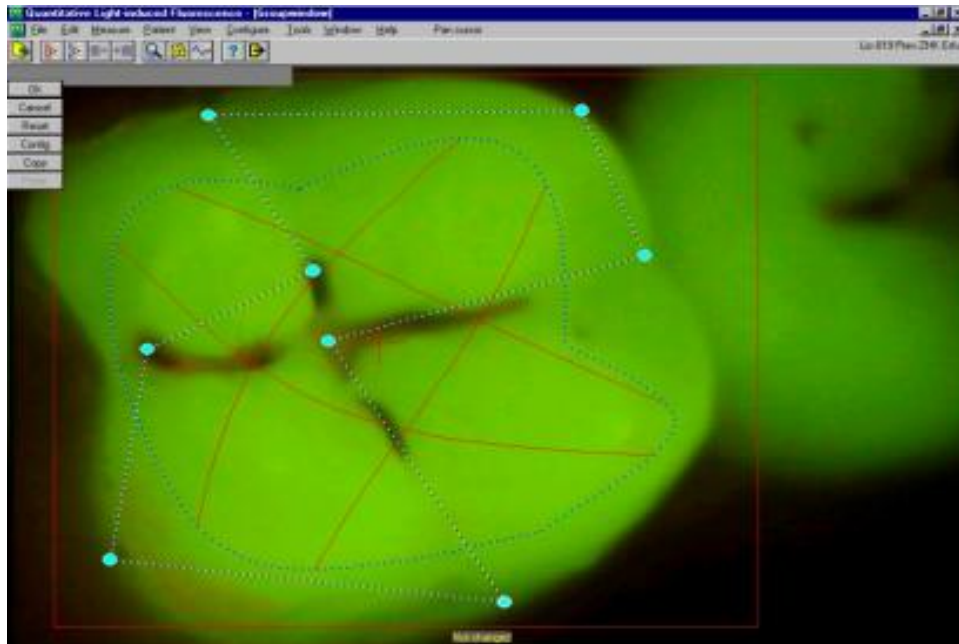


**Abb. 9:** Übersichtsbildschirm des QLF-Programmes

Wie aus Abbildung 10 ersichtlich, wird zur Bildanalyse, die sowohl die Berechnung des Fluoreszenzverlustes und Bestimmung der Läsionsgröße umfasst, ein rechtwinkliges Netzgitter (patch) herangezogen. Um ausschließlich das interessierende Schmelzareal analysieren zu können, wird dieses „patch“ (im Bild blau umrandet) der jeweiligen Läsion angepasst, wobei sich die Grenzen im läsionsumgebenden gesunden Schmelz befinden müssen. Die im Bild weiß dargestellten Linien sind für longitudinale Messungen notwendig, um eine Vergleichbarkeit der in verschiedenen Sitzungen angefertigter QLF-Aufnahmen zu ermöglichen. Im Rahmen der vorliegenden In-vitro-Studie war diese jedoch bedeutungslos, da nur eine Aufnahme pro Molar gewonnen wurde.

Nach Festlegung des patch-designs rekonstruiert das Programm durch zweidimensionale Einbeziehung gesunder Schmelz-Fluoreszenzwerte von den Grenzen des Netzes

die Okklusalfäche als Graustufen-Abbildung und berechnet zugleich den Fluoreszenzverlust durch die Ermittlung der prozentualen Differenz zwischen rekonstruierter (Läsions-) und natürlicher (gesunder Schmelz-) Fluoreszenz (Abb. 9).



**Abb. 10:** Auswertungsbildschirm des QLF-Programmes

Die Grenzwerte (threshold) des Fluoreszenzverlustes (0 bis -100 %) werden in einer Falschfarbendarstellung im Läsionsbereich wiedergegeben. Weiterhin wird die demineralisierte also kariös veränderte Fläche in  $\text{mm}^2$  (Area) ausgewiesen. Jedem Einzelwert des Fluoreszenzverlustes ist dabei eine definierte Größe der kariös veränderten Fläche zugeordnet. Darüber hinaus wird der Wert  $\Delta Q$  angegeben, der sich als Produkt aus Fluoreszenzverlust und Läsionsausdehnung ergibt.

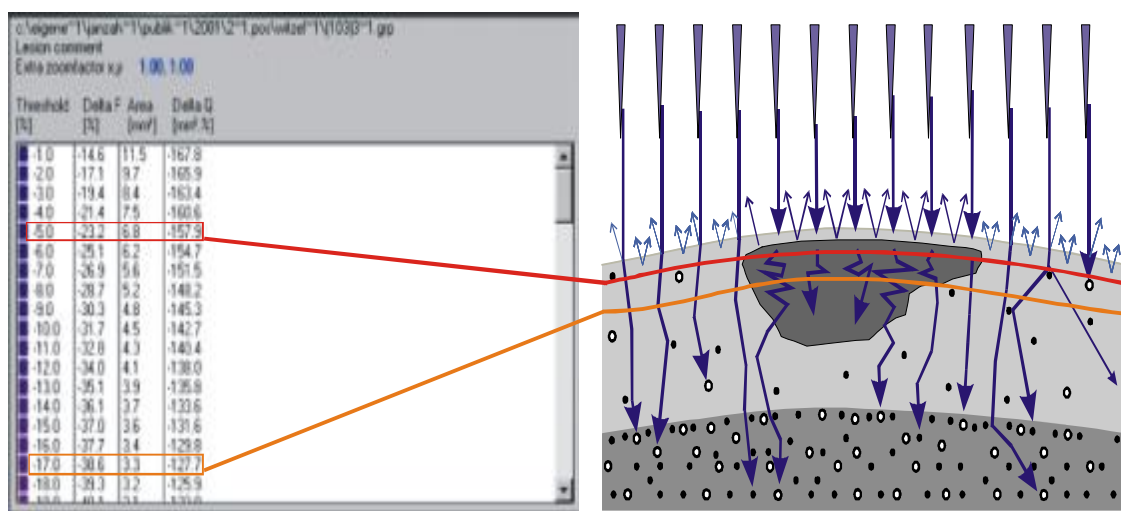
In der vorliegenden Studie wurden die QLF-Parameter Fluoreszenzverlust ( $\Delta F$ ), Läsionsausdehnung (Area) und das Produkt aus  $\Delta F$  und Area ( $\Delta Q$ ) als Entscheidungskriterien zwischen Gesund/Schmelzkaries und Dentinkaries untersucht. Im Gegensatz zu den anderen beiden klinischen Diagnostikmethoden waren keine definierten Kriterien aus der Literatur vorhanden. Zunächst erfolgte die Bestimmung von Diskriminationspunkten für die einzelnen Parameter. Die Bestimmung dieser kritischen Punkte wurde auf zwei unterschiedlichen Wegen durchgeführt.

Zum einen wurde mittels ROC-Kurven der Grenzwert mit den optimalen Parameterwerten ermittelt. Die MR wurde als Validierungsmethode eingesetzt. Die so berechneten Sensitivitäts- und Spezifitätswerte wurden zusammen mit der Akkuratheit und der Summe aus Sensitivität und Spezifität grafisch dargestellt. Die höchsten Punkte des

Kurvenverlaufs für die Akkuratheitswerte sowie der Summe aus Sensitivität und Spezifität geben dann den optimalen Diskriminationspunkt zwischen Gesund/Schmelz- und Dentinkaries okklusaler Läsionen an.

Eine weitere Methode Grenzwerte zur Diagnostik okklusaler Dentinkaries für die QLF-Parameter zu finden, ist durch den Zusammenhang zwischen der zurückgelegten Strecke des einfallenden Lichtes im Zahn und der Läsionstiefe möglich. Das einfallende Licht, dringt bis zu einer Tiefe von 100 % in den Zahn ein. Diese „Eindringtiefe“, die in dem Parameter „threshold“ - Grenzwert - ausgedrückt wird, ist für jeden Zahn aufgrund der individuellen Schmelzdicke verschieden und wird somit nicht in absoluten Zahlen angegeben. Auf jedem Grenzwert-Niveau können die Parameter  $\Delta F$  und Area gemessen werden, während sich  $\Delta Q$  aus diesen beiden Werten durch Multiplikation errechnet.

Im Beispiel der Abbildung 11 wurden auf dem Grenzwert -5 % ein Fluoreszenzverlust ( $\Delta F$ ) von -23,2 %, eine Läsionsausdehnung (Area) von 6,8 mm<sup>2</sup> gemessen und daraus ein  $\Delta Q$ -Wert von -157,9 mm<sup>2</sup>% berechnet.

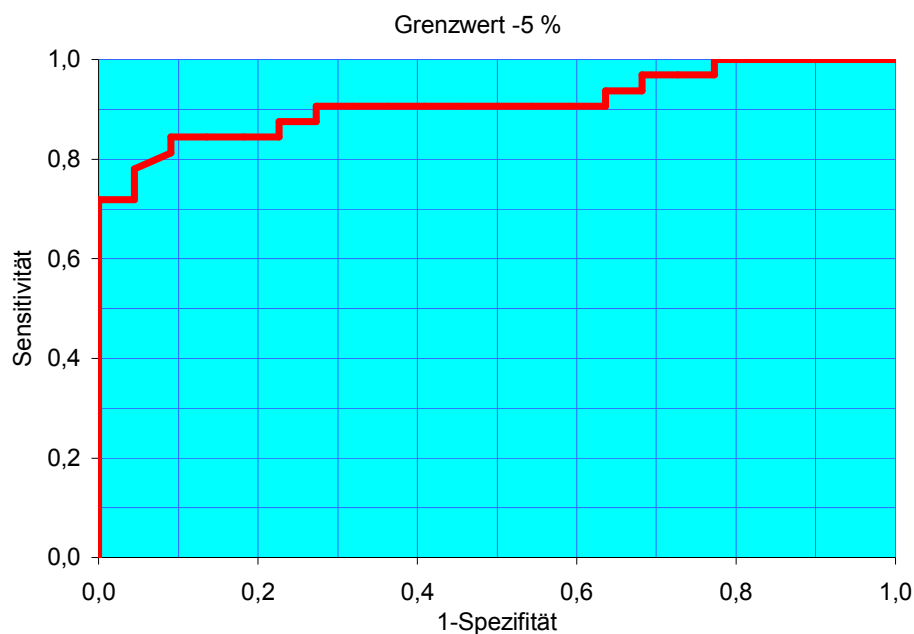


**Abb. 11:** Schematische Darstellung des Zusammenhangs zwischen der Tiefe des Lichteinfalls (Grenzwert) und den QLF-Parametern

Das Licht hat hier also 5 % der Gesamtstrecke zurückgelegt. Wie der Abbildung zu entnehmen ist, kann das Licht jedoch weiter als nur bis zum tiefsten Punkt der Läsion in den Zahn eindringen. Würde beispielsweise die Berechnung der einzelnen Parameter auf dem Grenzwert -90 % durchgeführt, hätten alle Parameter den Wert 0, da in dieser Grenzschicht keine Läsion und somit weder ein Fluoreszenzverlust noch eine Läsionsfläche vorhanden sind.

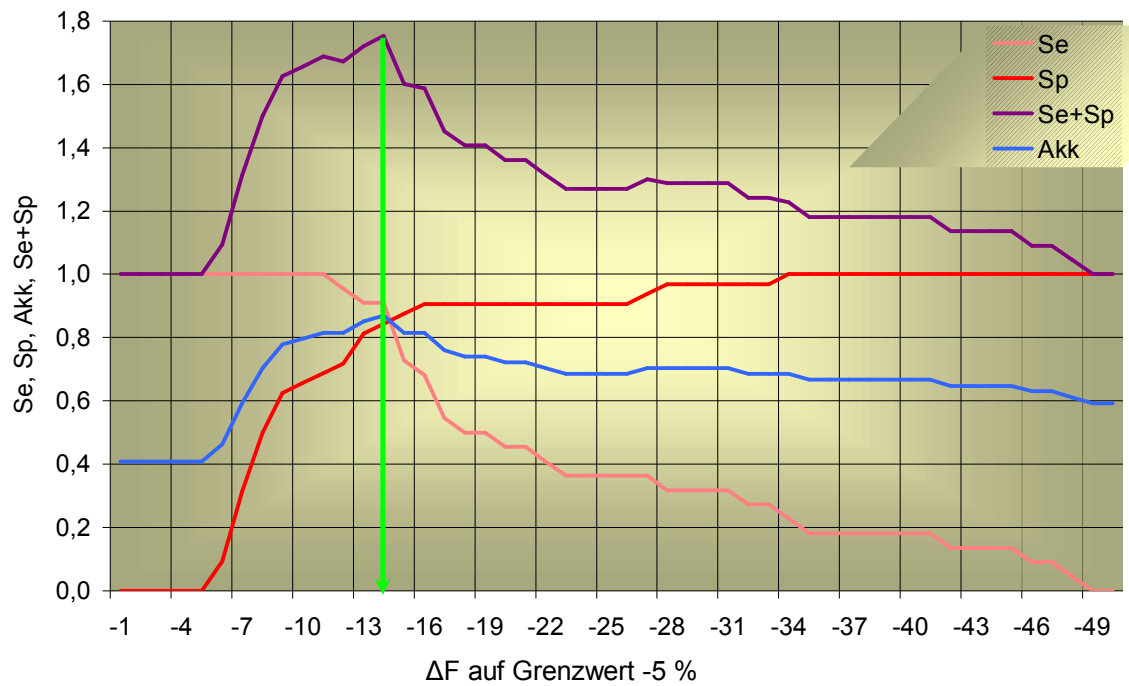
Da nun läsionsabhängig ab einem bestimmten Grenzwert alle Parameter den Wert 0 annehmen (es sei denn, die Läsion erstreckt sich bis zum Endpunkt des maximalen Lichteinfalles!), wurde für  $\Delta F$  und  $\Delta Q$  ein Wert unter 0 sowie für Area ein Wert  $> 0$  als okklusale Dentinkaries bestimmt. Für jeden Grenzwert wurden unter Bezug des MR-Befundes als Goldstandard die Sensitivität, Spezifität, Akkuratheit sowie die Summe aus Sensitivität und Spezifität berechnet und grafisch dargestellt. Auch hier geben die höchsten Punkte des Kurvenverlaufes der Akkuratheit und der Summe aus Sensitivität und Spezifität die optimale Grenzschrift zur Detektion okklusaler Dentinläsionen an. Die so gefundenen optimalen Grenzwerte und Parameter-Werte wurden in einem weiteren Vorgehen kombiniert.

Mit Hilfe von ROC-Kurven wurde für  $\Delta F$  das Grenzwert-Niveau von -5 % mit optimalen Güteparameter-Werten ermittelt (Abb. 12). Der  $A_z$ -Wert von 0,91 weist auf eine hohe Vorhersagekraft des Testes hin. In Abbildung 13 wird deutlich, dass ein  $\Delta F$ -Wert unter -14 % auf Grenzwert-Niveau -5 % eine okklusale Dentinkaries widerspiegelt (Tab. 3).



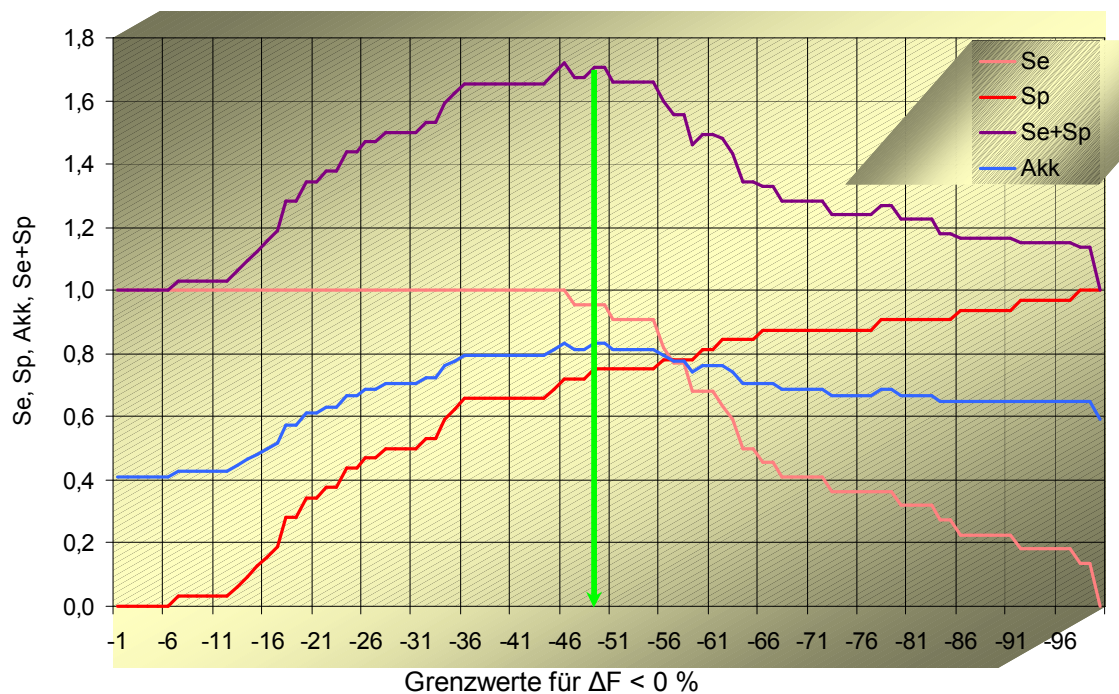
**Abb. 12:** ROC-Kurve für den QLF-Parameter  $\Delta F$  auf Grenzwert -5 %





**Abb. 13:** Sensitivität (Se), Spezifität (Sp), Summe aus Sensitivität und Spezifität (Se+Sp) und Akkuratheit (Akk) für  $\Delta F$  auf Grenzwert -5 % zur Bestimmung des optimalen Diskriminationspunktes (grüner Pfeil) okklusaler Läsionen auf Dentinkariesniveau (D<sub>3</sub>-D<sub>4</sub>)

In Abbildung 14 sind die Güteparameter der einzelnen Grenzsichten grafisch dargestellt, wenn für  $\Delta F$  ein Wert unter 0 % als Dentinkaries definiert wurde.



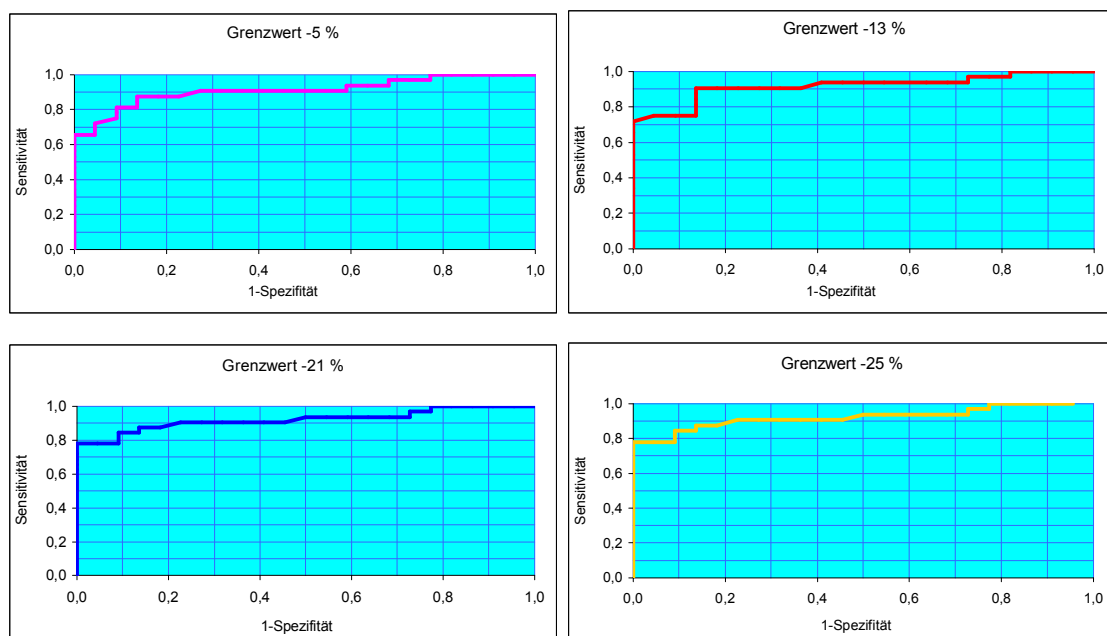
**Abb. 14:** Sensitivität (Se), Spezifität (Sp), Summe aus Sensitivität und Spezifität (Se+Sp) und Akkuratheit (Akk) für  $\Delta F < 0\%$  zur Bestimmung des optimalen Diskriminationspunktes (grüner Pfeil) okklusaler Läsionen auf Dentinkariesniveau (D<sub>3</sub>-D<sub>4</sub>)

Die Grafik zeigt, dass auf Grenzwert-Niveau -49 % eine optimale Diagnostik okklusaler Dentinläsionen möglich ist. Zugunsten einer höheren Spezifität wurde hier nicht der höchste Punkt der Summe aus Sensitivität und Spezifität gewählt. Jeder  $\Delta F$ -Wert unter 0 % gibt somit auf Grenzwert -49 % eine Dentinkaries an (Tab. 3).

**Tabelle 3:** Kriterien für den QLF-Parameter  $\Delta F$  zur Differenzierung einer Schmelz- und Dentinkaries

Fluoreszenzverlust	Grenzwert	Kriterium
$\Delta F \geq -14 \%$	-5 %	Gesund oder Schmelzkaries
$\Delta F = 0 \%$	-49 %	
$\Delta F < -14 \%$	-5 %	Dentinkaries
$\Delta F < 0 \%$	-49 %	

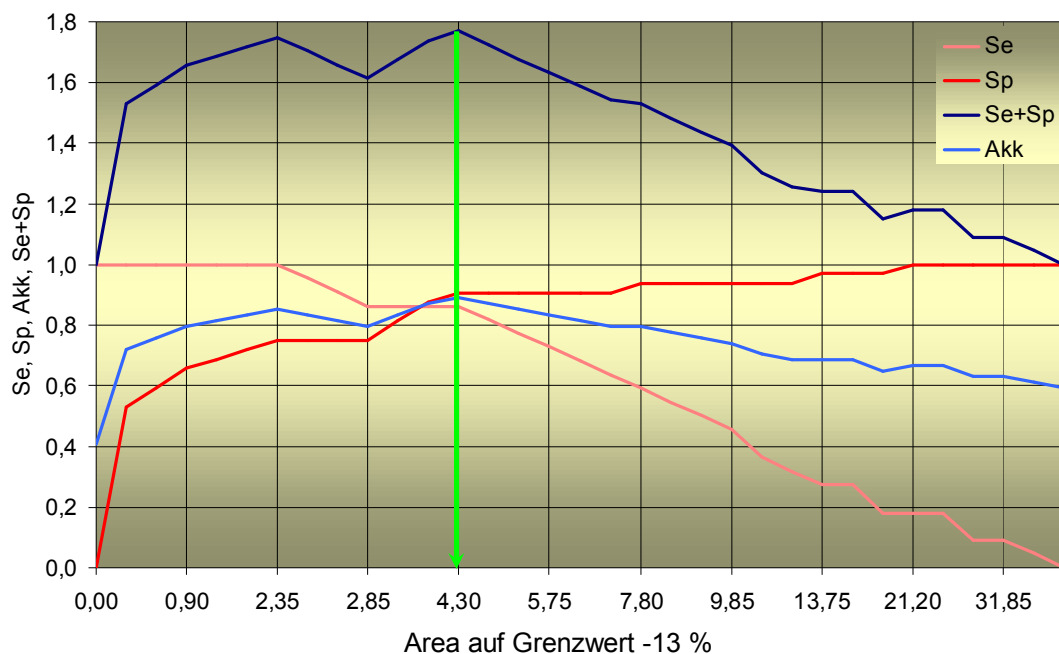
Für den Parameter Area wurde durch Heranziehen der ROC-Kurve nach den höchsten  $A_z$ -Werten für verschiedene Grenzwerte gesucht. Durch die grafische Darstellung wurde jedoch deutlich, dass dies nicht allein als Kriterium ausreichte, da aus einem hohen  $A_z$ -Wert nicht die höchst möglichen Sensitivitäts- und Spezifitätswerte für einen Diskriminationspunkt resultierten (Abb. 15).



**Abb. 15:** ROC-Kurve für den QLF-Parameter Area auf verschiedenen Grenzwerten

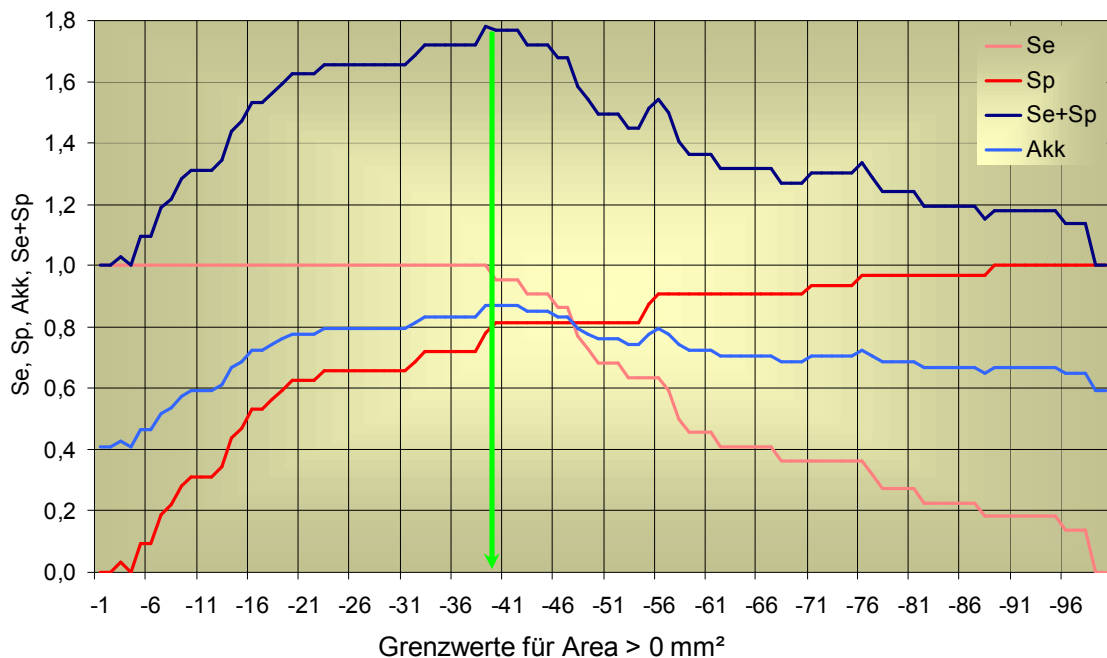


Anhand der vorliegenden Werte für die Fläche unter der ROC-Kurve müsste die Diagnostik auf dem Grenzwert -25 % ( $A_z = 0,923$ ) stattfinden. Im Diagramm ist jedoch erkennbar, dass auf dem Grenzwert-Niveau -13 % ( $A_z = 0,918$ ) höhere Werte für die Kombination von Sensitivität und Spezifität möglich sind. Somit wurde dieser Grenzwert für die Detektion okklusaler Dentinläsionen mittels QLF-Parameter Area gewählt (Abb. 16). Eine Läsionsfläche unter  $4,3 \text{ mm}^2$  spricht danach für eine gesunde Okklusalfäche bzw. schmelzbegrenzte Läsion. Beträgt die Ausdehnung der Läsion  $4,3 \text{ mm}^2$  oder mehr, ist von einer Dentinläsion auszugehen (Tab. 4).



**Abb. 16:** Sensitivität (Se), Spezifität (Sp), Summe aus Sensitivität und Spezifität (Se+Sp) und Akkuratheit (Akk) für Area auf Grenzwert -13 % zur Bestimmung des optimalen Diskriminationspunktes (grüner Pfeil) okklusaler Läsionen auf Dentinkariesniveau ( $D_3$ - $D_4$ )

Wurde eine okklusale Läsionsfläche größer als  $0 \text{ mm}^2$  als Ausbreitung des kariösen Prozesses bis ins Dentin definiert, so wurden optimale Sensitivitäts- und Spezifitätswerte auf dem Grenzwert von -40 % erreicht (Tab. 4). Auch hier wurde zugunsten einer höheren Spezifität nicht der höchste Punkt der Summen aus Sensitivität und Spezifität gewählt, der auf Grenzwert-Niveau -39 % zu erwarten wäre (Abb. 17).



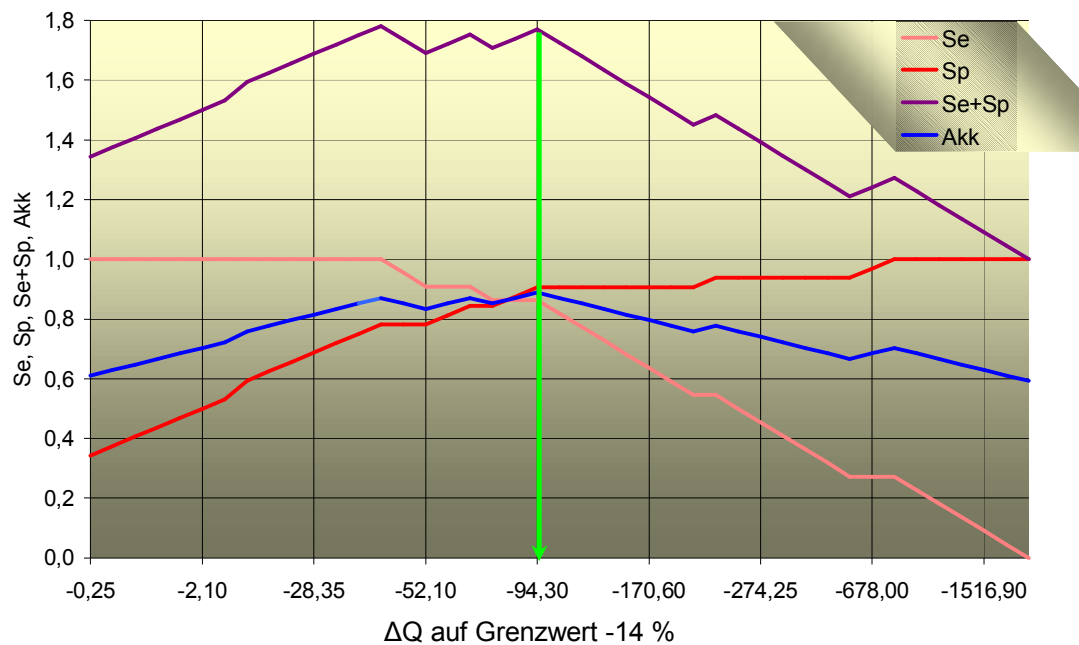
**Abb. 17:** Sensitivität (Se), Spezifität (Sp), Summe aus Sensitivität und Spezifität (Se+Sp) und Akkuratheit (Akk) für Area > 0 mm<sup>2</sup> zur Bestimmung des optimalen Diskriminationspunktes (grüner Pfeil) okklusaler Läsionen auf Dentinkariesniveau (D<sub>3</sub>-D<sub>4</sub>)

**Tabelle 4:** Kriterien für den QLF-Parameter Area zur Differenzierung einer Schmelz- und Dentinkaries

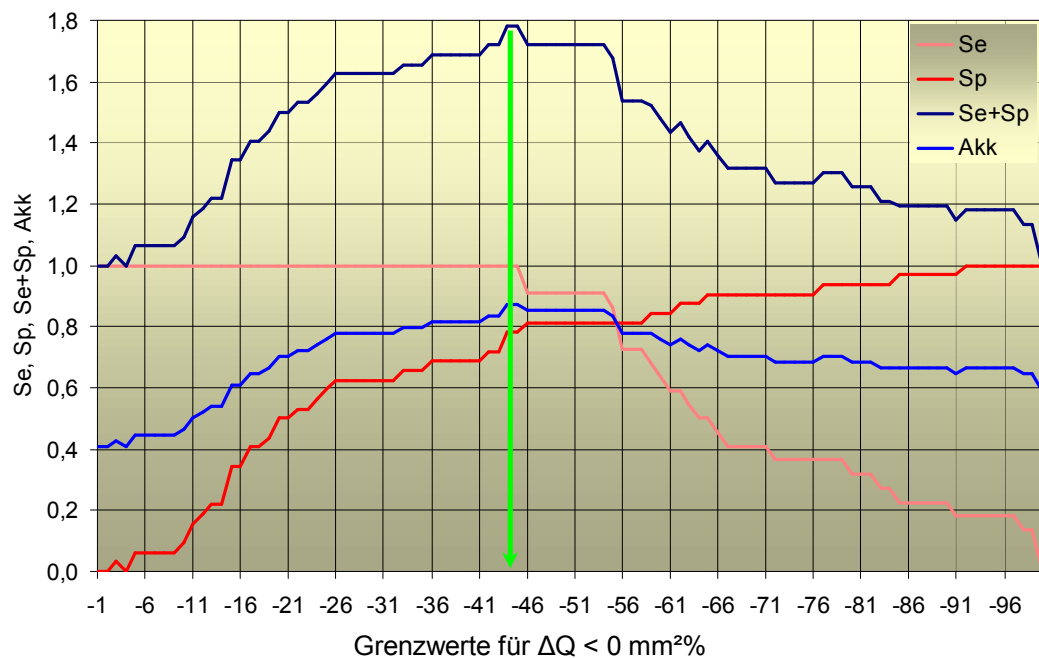
Läsionsfläche	Grenzwert	Kriterium
Area < 4,3 mm <sup>2</sup>	-13 %	Gesund oder Schmelzkaries
Area = 0 mm <sup>2</sup>	-40 %	
Area ≥ 4,3 mm <sup>2</sup>	-13 %	Dentinkaries
Area > 0 mm <sup>2</sup>	-40 %	

Für den Parameter  $\Delta Q$  ergab die Auswertung der ROC-Kurven optimale Sensitivitäts- und Spezifitätswerte auf Grenzwert -14 %. Ein  $A_z$ -Wert von 0,926 spricht für eine hohe Vorhersagekraft dieses Tests. Auf Grenzwert -14 % wurde ein  $\Delta Q$ -Wert unter 94,3 mm<sup>2</sup>% als Maß für das Vorliegen einer Dentinkaries definiert (Abb. 18). Zugunsten der höheren Spezifität und der höchsten Akkuratheit wurde sich für diesen  $\Delta Q$ -Wert und nicht für  $\Delta Q = -47,7$  mm<sup>2</sup>% entschieden (Tab. 5). Wurde ein  $\Delta Q$ -Wert von < 0 als Wert für das Vorliegen einer Dentinkaries definiert, so ergab sich das

Grenzwert-Niveau von -44 % als optimaler Diagnostik-Grenzwert (Abb. 19). Daher wurde auf dem Grenzwert-Niveau -44 % ein Zahn als gesund bzw. mit einer Schmelz-karies diagnostiziert, wenn der  $\Delta Q$ -Wert gleich Null war (Tab. 5).



**Abb. 18:** Sensitivität (Se), Spezifität (Sp), Summe aus Sensitivität und Spezifität (Se+Sp) und Akkuratheit (Akk) für  $\Delta Q$  auf Grenzwert-Niveau -14 % zur Bestimmung des optimalen Diskriminationspunktes (grüner Pfeil) okklusaler Läsionen auf Dentinkariesniveau (D<sub>3</sub>-D<sub>4</sub>)



**Abb. 19:** Sensitivität (Se), Spezifität (Sp), Summe aus Sensitivität und Spezifität (Se+Sp) und Akkuratheit (Akk) für  $\Delta Q < 0 \text{ mm}^2\%$  zur Bestimmung des optimalen Diskriminationspunktes (grüner Pfeil) okklusaler Läsionen auf Dentinkariesniveau (D<sub>3</sub>-D<sub>4</sub>)

**Tabelle 5:** Kriterien für den QLF-Parameter  $\Delta Q$  zur Differenzierung einer Schmelz- und Dentinkaries

$\Delta Q$	Grenzwert	Kriterium
$\Delta Q > -94,3 \text{ mm}^2\%$	-14 %	Gesund oder Schmelzkaries
$\Delta Q = 0 \text{ mm}^2\%$	-44 %	
$\Delta Q \leq -94,3 \text{ mm}^2\%$	-14 %	Dentinkaries
$\Delta Q < 0 \text{ mm}^2\%$	-44 %	

Die berechneten optimalen Grenzwerte und Diskriminationspunkte der einzelnen Parameter wurden anschließend kombiniert (Tab. 3 bis 5). Sind auf allen Grenzwerten die kritischen Punkte erreicht ( $\Delta F$  [Grenzwert -5 %] < -14 % *und*  $\Delta F$  [Grenzwert -49 %] < 0 % *und* Area [Grenzwert -13 %]  $\geq 4,3 \text{ mm}^2$  *und* Area [Grenzwert -40 %] > 0  $\text{mm}^2$  *und*  $\Delta Q$  [Grenzwert -14 %]  $\leq -94,3 \text{ mm}^2\%$  *und*  $\Delta Q$  [Grenzwert -44 %] < 0  $\text{mm}^2\%$ ), so ist der kariöse Prozess bis ins Dentin vorgedrungen. Weist nur einer der Parameter nicht den erforderlichen Wert auf, so ist der Zahn gesund bzw. es ist eine Schmelzkaries vorhanden.

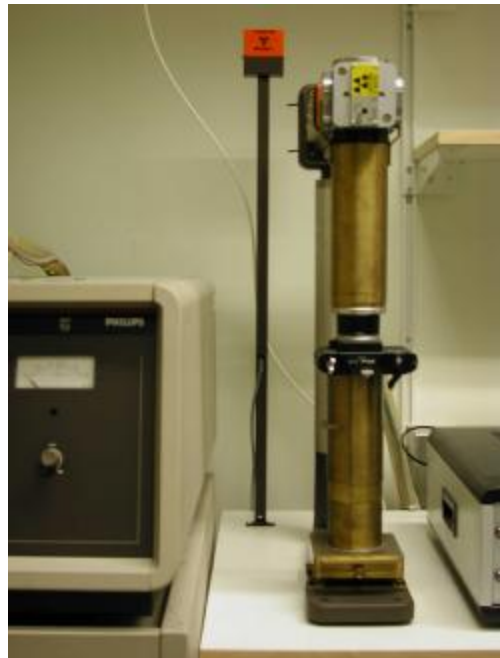
#### 4.2.4 Mikroradiografische Untersuchung

Zur Validierung der Diagnostikmethoden wurden von jedem Molaren mehrere etwa 500  $\mu\text{m}$  dicke histologische Zahnschnitte aus dem Läsionsbereich angefertigt. Nach Einbettung der Zahnkronen in Calocryl® (Heraeus Kulzer, Deutschland) wurden die Schnitte in bucco-lingualer Richtung mit dem Sägemikrotom Microtrenn 1-78-03 (Hofer, Schweiz) präpariert. Die Schnittführung durch den Läsionsbereich wurde auf den zuvor erstellten Fotos festgelegt. Von jedem Molar wurde der Zahnschliff mit der am weitesten fortgeschrittenen Läsionsausdehnung selektiert und der mikroradiografischen Untersuchung im Karolinska-Institut, Abteilung für Kariologie und Endodontie, Stockholm, Schweden unterzogen.

Die Schliffe wurden zuvor mit Schleifpapier (Körnung 600) manuell auf eine Dicke von 300  $\mu\text{m}$  reduziert. Die in einem Kunststoffhalter fixierten Schliffe wurden dann mit Ni-gefilterten Cu-K $\alpha$ -Röntgenstrahlen bei 20 kV und 20 mA mit einer Expositionszeit von einer Minute bestrahlt. Als Filmmaterial dienten Kodak Highspeed Holographic Filme

SO-253 (Eastman Kodak Company, USA). Der Versuchsaufbau zur Anfertigung der mikroradiografischen Bilder ist in Abbildung 20 dargestellt.

**Abb. 20:** Versuchsaufbau zur Anfertigung mikroradiografischer Aufnahmen im Karolinska-Institut, Stockholm, Schweden



Nach standardisierter Entwicklung der Filme erfolgte die Auswertung semi-quantitativ bei 16-facher Vergrößerung unter dem Stereomikroskop Stemi SV 11 (Zeiss, Deutschland) nach den in Tabelle 6 aufgeführten Kriterien. Dabei wurde das Computerprogramm KS 100 Imaging System Release 3.0 (Zeiss, Deutschland) zur digitalen Bildgewinnung und -auswertung genutzt. Der jeweils höchste kariöse Progressionsgrad der okklusalen Läsion wurde in die Auswertung einbezogen.

**Tabelle 6:** Kriterien zur mikroradiografischen Beurteilung von Zahnschliffen

Grad	Kriterium
<b>D<sub>0</sub></b>	Keine Demineralisation erkennbar
<b>D<sub>1</sub></b>	Demineralisation auf die äußere Schmelzhälfte begrenzt
<b>D<sub>2</sub></b>	Demineralisation bis zur inneren Schmelzhälfte vorgegangen, die Schmelz-Dentin-Grenze ist noch nicht durchbrochen
<b>D<sub>3</sub></b>	Demineralisationsprozess hat die Schmelz-Dentin-Grenze durchbrochen und involviert die äußere Hälfte des Dentins
<b>D<sub>4</sub></b>	Demineralisationsprozess hat die innere Hälfte des Dentins erreicht

### 4.3 Kalibration der Untersucher

Um eine exakte Befundung der Untersucher zu sichern und die Validität ihrer Befunde zu gewährleisten, wurden im Vorfeld der In-vitro-Studie methodenbezogene Kalibrationen durchgeführt. Die Vermittlung der theoretischen Grundlagen und das praktische Training der Kalibration wurde von einer trainierten und klinisch versierten Zahnärztin (R. H.-W.) überwacht und kontrolliert.

Die Kalibration der *visuellen Kariesdiagnostik* wurde an 150 Okklusalfächen von extrahierten Molaren durchgeführt. Die Befundung wurde von den beiden Untersuchern (R. H.-W., J. K.) nach den von Ekstrand et al. (1997) definierten Kriterien (siehe Kapitel 4.2.1) vorgenommen. Die Intra-Untersucher-Variabilität belief sich für Untersucher 1 (R. H.-W.) auf  $\kappa = 0,91$  und für Untersucher 2 (J. K.) auf  $\kappa = 0,96$ . Die Inter-Untersucher-Variabilität betrug  $\kappa = 0,87$ .

Zur Kalibration der *Röntgendiagnostik* wurden 38 Bissflügelaufnahmen herangezogen. Die Zähne wurden nach den von Weerheijm et al. (1992a) beschriebenen Kriterien (siehe Kapitel 4.2.2) von den Untersuchern (R. H.-W., J. K., T. O.) zweimal befundet. Die Einzeldiagnosen wurden verglichen und diskordante Befunde im Verlauf der Auswertung diskutiert. Es wurde dabei eine Inter-Untersucher-Variabilität von  $\kappa = 0,76$  erzielt. Die Intra-Untersucher-Variabilität betrug für Untersucher 1 (R. H.-W.)  $\kappa = 0,86$ , für Untersucher 2 (J. K.)  $\kappa = 0,61$  und für Untersucher 3 (T. O.)  $\kappa = 0,74$ .

Zur Kalibration von *QLF* wurden 31 Aufnahmen von Okklusalfächen im Abstand von 2 Wochen von einem Untersucher (S. I.) analysiert. Die Analysen wurden anschließend vom Kalibreur (J. K.) kontrolliert und diskordante Ergebnisse mit dem Untersucher diskutiert. Der Intraklassenkoeffizient (ICC) betrug 0,92 zwischen den Untersuchern. Für Untersucher 1 (J. K.) wurde ein ICC-Wert von 0,91 und für Untersucher 2 (S. I.) von 0,99 bestimmt.

Die Untersucherin (S. I.) wurde am Karolinska-Institut in Stockholm, Schweden, durch eine erfahrene und trainierte Zahnärztin (S. T.) für die *Mikroradiografie (MR)* kalibriert. Es wurden 10 Schliffe, von denen mikroradiografische Aufnahmen angefertigt wurden, zufällig ausgewählt und dem Untersucher vorgelegt. Anschließend wurde das Ergebnis der Auswertung mit dem Kalibreur diskutiert. Für die Inter-Untersucher-Übereinstimmung wurde ein ICC-Wert von 0,83 berechnet. Die Intra-Untersucher-

Variabilität betrug für Untersucher 1 (S. T.)  $ICC = 0,83$  und für Untersucher 2 (S. I.)  $ICC = 1,00$ .

#### 4.4 Statistische Analyse

Als Goldstandard für die einzelnen Diagnostikmethoden diente der mikroradiografische Befund der von jedem Molaren angefertigten Schliffpräparate. Um die diagnostische Güte der einzelnen Untersuchungsmethoden zu ermitteln, wurden die Parameter *Sensitivität, Spezifität, Akkuratheit, positiver und negativer Vorhersagewert, positive und negative Density Likelihood Ratio*, sowie der *Rangkorrelationskoeffizient nach Spearman* berechnet. Für die Berechnung der nachfolgend aufgeführten Daten wurden die Programme SPSS for Windows Students Version Release 10.0.5 und Microsoft Excel 97 verwendet.

##### *Sensitivität (Se)*

Die Sensitivität einer Diagnostikmethode beschreibt den Anteil, mit der eine Diagnostikmethode eine kariös erkrankte Okklusalfäche, die nach mikroradiografischer Befundung als kariös beurteilt wurde, richtig erkennt.

##### *Spezifität (Sp)*

Die Spezifität reflektiert den Anteil der tatsächlich gesunden Okklusalfächen, die mit dem jeweiligen Diagnostik- und Validierungsverfahren korrekt als gesund erkannt wurden.

##### *Akkuratheit (Akk)*

Die Akkuratheit ist der Anteil der insgesamt mit einer Diagnostikmethode richtig diagnostizierten Okklusalfächen.

##### *Positiver (PPV) und negativer (NPV) Vorhersagewert*

Der positive Vorhersagewert ist das Verhältnis der richtig als kariös diagnostizierten Fälle zur Gesamtzahl aller Zähne mit einem positiven diagnostischen Befund. Der negative Vorhersagewert ist das Verhältnis der korrekt als gesund erkannten Fälle zur Gesamtzahl aller Zähne mit einem negativen diagnostischen Befund. Für die vorliegenden Berechnungen wurde nicht auf die im Rahmen der Untersuchung ermittelte Prävalenz zurückgegriffen, sondern eine Prävalenz von 0,2 angenommen.

Diese Prävalenzangabe reflektiert in etwa Häufigkeitsangaben für nicht kavitierte Läsionen im Kindes- und Jugendalter an bleibenden Molaren (Kühnisch et al., 2001).

#### *Positive ( $LR^+$ ) und negative ( $LR^-$ ) Likelihood Ratio*

Nach der Durchführung eines Tests ist auch der Informationsgewinn bei einem positiven bzw. negativen Testresultat bedeutsam. Aussagen dazu werden durch die Größen  $LR^+$  und  $LR^-$  beschrieben (Leisenring und Pepe, 1998). Der Wertebereich für die  $LR^+$  liegt zwischen 1 und  $\infty$  und für die  $LR^-$  zwischen 0 und 1. Likelihood Ratios, die annähernd oder genau 1 betragen, weisen auf einen unbrauchbaren Test hin, da kein zusätzlicher Informationsgewinn zu erwarten ist. Werte für  $LR^-$  zwischen 0,1 und 0,3 sowie für  $LR^+$  zwischen 3 und 10 deuten auf eine brauchbare Testmethode hin. Nimmt die negative Likelihood Ratio Werte unter 0,1 an, so wird von einem sehr guten Test gesprochen. Das gleiche gilt für  $LR^+$ -Werte, die größer als 10 sind.

Da die Größen direkt von der Sensitivität und Spezifität abgeleitet werden, sind sie von der Prävalenz der vorliegenden Erkrankung unabhängig.

#### *Receiver Operating Characteristik Curves (ROC-Kurven)*

Mit ROC-Kurven wird das Zusammenwirken von Sensitivität und Spezifität eines diagnostischen Tests analysiert (Nilius und Neef, 1979; Bühl und Zöfel, 2000). Für die ROC-Kurve wird die Sensitivität gegen den Komplementärwert der Spezifität zu 1 aufgetragen. Ein diagnostischer Wert ohne jede Vorhersagekraft ergibt eine 45-Grad-Linie (Diagonale). Je bauchiger die ROC-Kurve ist, desto größer ist die Vorhersagekraft des Tests. Das Maß dafür ist die Fläche unterhalb der ROC-Kurve ( $A_z$ ), die bei einem Test ohne jede Vorhersagekraft bei 0,5 und im Maximalfall bei 1 liegt.

#### *Rangkorrelationskoeffizient nach Spearman ( $r_{Spearman}$ )*

Bei ordinal oder nicht-normalverteilten intervallskalierten Variablen wird die Rangkorrelation nach Spearman berechnet. Zur verbalen Beschreibung der Werte sind die in Tabelle 7 aufgeführten Abstufungen üblich (Bühl und Zöfel, 2000).

#### *Intraclass Correlation Coefficient (ICC)*

Der Intraklassenkoeffizient ist ein Maß der Konsistenz oder Werteübereinstimmung innerhalb von Fällen. Es können Werte zwischen +1 und -1 auftreten. Es gelten für die Interpretation der ICC die gleichen Abstufungen wie für den Spearman-Koeffizienten (Tab. 7).



**Tabelle 7:** Interpretation der Güte von Rangkorrelationskoeffizienten nach Spearman und Intraklassenkoeffizienten (ICC) (Bühl und Zöfel, 2000)

Wert	Interpretation
bis 0,2	Sehr geringe Korrelation
bis 0,5	Geringe Korrelation
bis 0,7	Mittlere Korrelation
bis 0,9	Hohe Korrelation
über 0,9	Sehr hohe Korrelation

#### *Cohen's Kappa*

Der Kappa-Wert ist eine Maßzahl für die zufallskorrigierte Übereinstimmung bei wiederholter Befundung. Deshalb wurde zur Bestimmung der Intra- und Inter-Untersucher-Variabilität die Kappa-Statistik berechnet.

Ein Kappa-Wert ( $\kappa$ ) von 1 repräsentiert dabei eine absolute Übereinstimmung, Werte über 0,75 sprechen für eine sehr gute, Werte zwischen 0,4 und 0,75 für eine gute und Werte unter 0,4 für eine marginale Übereinstimmung (Fleiss, 1981).

## 5 Ergebnisse

### 5.1 Einzelbefunde

#### 5.1.1 Visuelle Kariesdiagnostik

Die in Tabelle 8 dargestellte Häufigkeitsverteilung der visuellen Befunde zeigt, dass die Okklusalflächen der Molaren am häufigsten (37,0 %) deutlich sichtbare Opazitäten oder Braunverfärbungen ohne Lufttrocknung (Kriterium 2) aufwiesen. Es folgten mit 27,8 % Okklusalflächen mit lokalen Schmelzeinbrüchen im opaken oder verfärbten Schmelz mit oder ohne Verfärbung des darunterliegenden Dentins (Kriterium 3). Neun Zähne (16,7 %) wiesen eine vor Lufttrocknung kaum, jedoch nach Lufttrocknung deutlich sichtbare Opazität oder Braunverfärbung der Okklusalfäche auf (Kriterium 1). Bei 11,1 % der untersuchten Molaren war keine oder nur nach verlängerter Lufttrocknung eine Schmelztransluzenz erkennbar (Kriterium 0). In 7,4 % der Fälle wurde eine Kavitation der Oberfläche diagnostiziert (Kriterium 4).

**Tabelle 8:** Häufigkeitsverteilung visueller Befunde von okklusalen Läsionen der Molaren nach Ekstrand et al. (1997)

Visueller Befund	Anzahl	Prozent (%)
0	6	11,1
1	9	16,7
2	20	37,0
3	15	27,8
4	4	7,4
<b>Gesamt</b>	54	100,0

#### 5.1.2 Röntgenografische Kariesdiagnostik

In Tabelle 9 sind die Ergebnisse der röntgenografischen Untersuchung nach den von Weerheijm et al. (1992a) erstellten Kriterien aufgelistet. Danach wurden 51,9 % der untersuchten Okklusalflächen im Röntgenbild dem Grad 0 (Keine Radioluzenz im Dentin unterhalb der okklusalen Schmelzschicht sichtbar) zugeordnet. In 46,3 % der Fälle konnte eine Radioluzenz im Dentin (Grad 2) diagnostiziert werden. Ein Zahn (1,9 %) war mit der röntgenografischen Kariesdiagnostik nicht zu beurteilen (Grad X).

**Tabelle 9:** Häufigkeitsverteilung röntgenografischer Befunde okklusaler Läsionen nach Weerheijm et al. (1992a)

<b>Röntgenografischer Befund</b>	<b>Anzahl</b>	<b>Prozent (%)</b>
<b>0</b>	28	51,9
<b>2</b>	25	46,3
<b>X</b>	1	1,9
<b>Gesamt</b>	54	100,0

### 5.1.3 Kariesdiagnostik mit QLF

In Tabelle 10 sind die Ergebnisse für den Parameter  $\Delta F$  dargestellt. Auf Grenzwert -5 % wurden 29 (53,7 %) der Molaren als Gesund oder mit einer Schmelzkaries ( $\Delta F \geq -14$  %) diagnostiziert. Eine Dentinkaries ( $\Delta F < -14$  %) kam in 46,3 % der Fälle vor. Auf Grenzwert -49 % hatten 46,3 % der untersuchten Zähne einen  $\Delta F$ -Wert gleich 0 % (Gesund oder Schmelzkaries). 29 (53,7 %) Okklusalflächen wiesen einen Fluoreszenzverlust unter 0 % auf (Dentinkaries).

**Tabelle 10:** Häufigkeitsverteilung der QLF-Befunde okklusaler Läsionen für den Parameter  $\Delta F$  auf unterschiedlichen Grenzwerten

<b>QLF-<math>\Delta F</math>-Befund</b>	<b><math>\Delta F</math> (Grenzwert -5 %)</b>		<b><math>\Delta F</math> (Grenzwert -49 %)</b>	
	<b>Anzahl</b>	<b>Prozent (%)</b>	<b>Anzahl</b>	<b>Prozent (%)</b>
<b>Gesund oder Schmelzkaries</b>	29	53,7	25	46,3
<b>Dentinkaries</b>	25	46,3	29	53,7
<b>Gesamt</b>	54	100,0	54	100,0

Die Auswertung des QLF-Parameters Area auf Grenzwert -13 % ergab, dass 32 (59,3 %) Molaren eine okklusale Dentinkaries ( $\text{Area} \geq 4,3 \text{ mm}^2$ ) aufwiesen (Tab. 11). 40,7 % der Okklusalflächen wurden als gesund oder mit einer Schmelzkaries diagnostiziert ( $\text{Area} < 4,3 \text{ mm}^2$ ). Wurde ein Grenzwert von -40 % als Schwellenwert

definiert, so waren jeweils 27 (50,0 %) der befundeten Molaren den Kriterien „Gesund oder Schmelzkaries“ ( $\text{Area} = 0 \text{ mm}^2$ ) bzw. „Dentinkaries“ ( $\text{Area} > 0 \text{ mm}^2$ ) zuzuordnen.

**Tabelle 11:** Häufigkeitsverteilung der QLF-Befunde okklusaler Läsionen für den Parameter Area auf unterschiedlichen Grenzwerten

QLF-Area-Befund	Area (Grenzwert -13 %)		Area (Grenzwert -40 %)	
	Anzahl	Prozent (%)	Anzahl	Prozent (%)
<b>Gesund oder Schmelzkaries</b>	22	40,7	27	50,0
<b>Dentinkaries</b>	32	59,3	27	50,0
<b>Gesamt</b>	54	100,0	54	100,0

Wurde der  $\Delta Q$ -Wert zur Diagnostik der Okklusalflächen herangezogen, so waren mit 59,3 % auf Grenzwert -14 % am häufigsten Okklusalflächen mit einem  $\Delta Q$ -Wert  $\leq -94,3 \text{ mm}^2\%$  (Dentinkaries) vorhanden (Tab. 12). Für 22 Molaren (40,7 %) konnte der Befund „Gesund oder Schmelzkaries“ ( $\Delta Q > 94,3 \text{ mm}^2\%$ ) bestimmt werden.

**Tabelle 12:** Häufigkeitsverteilung der QLF-Befunde okklusaler Läsionen für den Parameter  $\Delta Q$  auf unterschiedlichen Grenzwerten

QLF- $\Delta Q$ -Befund	$\Delta Q$ (Grenzwert -14 %)		$\Delta Q$ (Grenzwert -44 %)	
	Anzahl	Prozent (%)	Anzahl	Prozent (%)
<b>Gesund oder Schmelzkaries</b>	22	40,7	29	53,7
<b>Dentinkaries</b>	32	59,3	25	46,3
<b>Gesamt</b>	54	100,0	54	100,0

Auf Grenzwert-Niveau -44 % wurden mit 53,7 % am häufigsten Zähne mit gesunder Okklusalfäche oder mit auf den Schmelz begrenzten kariösen Läsionen ( $\Delta Q = 0 \text{ mm}^2\%$ ) diagnostiziert. Eine Dentinkaries ( $\Delta Q < 0 \text{ mm}^2\%$ ) wurde in 46,3 % der Fälle festgestellt.

Wurden die sechs definierten QLF-Parameter-Werte (Tab. 3 bis 5) kombiniert, waren 32 (59,3 %) der Molaren gesund bzw. hatten kariöse Veränderungen im Schmelz, da mindestens einer der sechs Parameter Werte für „Gesund oder Schmelzkaries“ aufwies (Tab. 13). Eine Dentinkaries lag bei 40,7 % der untersuchten Okklusalflächen vor, da alle sechs QLF-Parameter übereinstimmend eine „Dentinkaries“ anzeigten.

**Tabelle 13:** Häufigkeitsverteilung der QLF-Befunde okklusaler Läsionen für die Kombination der einzelnen Parameter

QLF-Kombination-Befund	Anzahl	Prozent (%)
Gesund oder Schmelzkaries	32	59,3
Dentinkaries	22	40,7
Gesamt	54	100,0

#### 5.1.4 Mikroradiografische Untersuchung

Nach der Mikroradiografischen Untersuchung wurden am häufigsten (31,5 %) Okklusalflächen mit Läsionen der äußeren Schmelzhälfte (D<sub>1</sub>) detektiert (Tab. 14). Es folgten mit 29,6 % okklusale Dentinläsionen der äußeren Dentinhälfte (D<sub>3</sub>). In 16,7 % der Fälle war die Demineralisation bis zur inneren Schmelzhälfte vorgedrungen (D<sub>2</sub>), wobei die Schmelz-Dentin-Grenze noch nicht durchbrochen war. Jeweils 6 Zähne (11,1 %) wiesen die Grade D<sub>0</sub> (Gesund) bzw. D<sub>4</sub> (Demineralisationsprozess hat die innere Hälfte des Dentins erreicht) auf.

**Tabelle 14:** Häufigkeitsverteilung mikroradiografischer Befunde von okklusalen Läsionen der Molaren

Mikroradiografischer Befund	Anzahl	Prozent (%)
D <sub>0</sub>	6	11,1
D <sub>1</sub>	17	31,5
D <sub>2</sub>	9	16,7
D <sub>3</sub>	16	29,6
D <sub>4</sub>	6	11,1
Gesamt	54	100,0

## 5.2 Vergleichende Bewertung der Einzelbefunde

In die vergleichende Bewertung visueller, röntgenografischer und lichtoptischer Kariesdiagnostikverfahren konnten 54 extrahierte Molaren einbezogen werden. Die Mikroradiografie wurde als Goldstandard für die Genauigkeit der Diagnostikverfahren herangezogen. Der Fokus der vorliegenden Arbeit lag auf der Diagnostik okklusaler Dentinläsionen. Daher wurden die visuellen Kriterien 0 bis 2 und die mikroradiografischen Grade D<sub>0</sub> bis D<sub>2</sub>, die das Vorhandensein einer Schmelzkaries reflektieren, zusammengefasst. Weiterhin wurden die visuellen Kriterien 3 und 4 und die mikroradiografischen Grade D<sub>3</sub> und D<sub>4</sub>, die das Vorliegen einer Dentinkaries in der äußeren bzw. inneren Dentinhälfte charakterisieren, als ein Kriterium verwendet.

In den Tabellen 15 bis 20 sind die Befunde der einzelnen Diagnostikverfahren mit denen der Mikroradiografie kreuzklassifiziert. Es wurden der Spearman's Korrelationskoeffizient und die Akkuratheit berechnet. Mit der visuellen Okklusalkariesdiagnostik nach Ekstrand et al. (1997) wurden 79,6 % aller Molaren richtig diagnostiziert (Tab. 15). Der Korrelationskoeffizient von 0,57 spricht für eine mittlere Korrelation.

**Tabelle 15:** Kreuzklassifikation der visuellen und mikroradiografisch validierten Befunde okklusaler Läsionen auf Schmelz- (D<sub>0</sub>-D<sub>2</sub>) und Dentinkariesniveau (D<sub>3</sub>-D<sub>4</sub>)

Visueller Befund	MR Befund			Akk	r <sub>Spearman</sub>
	D <sub>0</sub> -D <sub>2</sub>	D <sub>3</sub> -D <sub>4</sub>	Gesamt		
0-2	28	7	35		
3-4	4	15	19		
Gesamt	32	22	54	79,6 %	0,57

Für die röntgenografische Okklusalkariesdiagnostik wurde eine Akkuratheit von 66,7 % ermittelt; der Korrelationskoeffizient betrug  $r_{\text{Spearman}} = 0,36$  (Tab. 16).

**Tabelle 16:** Kreuzklassifikation der röntgenografischen und mikroradiografisch validierten Befunde okklusaler Läsionen auf Schmelz- (D<sub>0</sub>-D<sub>2</sub>) und Dentinkariesniveau (D<sub>3</sub>-D<sub>4</sub>)

Röntgenografischer Befund	MR Befund			Akk	r <sub>Spearman</sub>
	D <sub>0</sub> -D <sub>2</sub>	D <sub>3</sub> -D <sub>4</sub>	Gesamt		
0	21	7	28		
2	10	15	25		
X	1	-	1		
<b>Gesamt</b>	32	22	54	67,9 %	0,36

Für QLF sind die Resultate der einzelnen Parameter in den Tabellen 18 bis 21 dargestellt. Wurde ein  $\Delta F$ -Wert unter -14 % auf Grenzwert -5 % als Dentinkaries definiert, so wurde eine Akkuratheit von 87,0 % und eine hohe Korrelation von  $r_{\text{Spearman}} = 0,74$  erreicht (Tab. 17). Auf Grenzwert -49 % betrug die Akkuratheit 83,3 % und der Rangkorrelationskoeffizient nach Spearman 0,69.

**Tabelle 17:** Kreuzklassifikation der  $\Delta F$ - und mikroradiografisch validierten Befunde okklusaler Läsionen auf Schmelz- (D<sub>0</sub>-D<sub>2</sub>) und Dentinkariesniveau (D<sub>3</sub>-D<sub>4</sub>)

QLF-Befunde für $\Delta F$	MR-Befund			Akk	r <sub>Spearman</sub>
	D <sub>0</sub> -D <sub>2</sub>	D <sub>3</sub> -D <sub>4</sub>	Gesamt		
$\Delta F \geq -14 \%$ (Grenzwert -5 %)	27	2	29		
$\Delta F < -14 \%$ (Grenzwert -5 %)	5	20	25		
<b>Gesamt</b>	32	22	54	87,0 %	0,74
$\Delta F = 0 \%$ (Grenzwert -49 %)	24	1	25		
$\Delta F < 0 \%$ (Grenzwert -49 %)	8	21	29		
<b>Gesamt</b>	32	22	54	83,3 %	0,69

Wurde die Läsionsfläche auf Grenzwert -13 % größer als 4,3 mm<sup>2</sup> als Kriterium für eine okklusale Dentinkaries verwendet, so wurden eine Akkuratheit von 88,9 % und ein Korrelationskoeffizient von  $r_{\text{Spearman}} = 0,77$  berechnet (Tab. 18). War der Area-Wert auf Grenzwert -40 % größer 0 mm<sup>2</sup> das Kriterium für das Vorhandensein eines kariösen

Prozesses im Dentin, wurden 87,0 % der Zähne richtig diagnostiziert. Der Rangkorrelationskoeffizient nach Spearman von  $r_{\text{Spearman}} = 0,75$  weist auf eine hohe Korrelation mit der Validierungsmethode hin.

**Tabelle 18:** Kreuzklassifikation der Area- und mikroradiografisch validierten Befunde okklusaler Läsionen auf Schmelz- (D<sub>0</sub>-D<sub>2</sub>) und Dentinkariesniveau (D<sub>3</sub>-D<sub>4</sub>)

QLF-Befunde für Area	MR-Befund			Akk	$r_{\text{Spearman}}$
	D <sub>0</sub> -D <sub>2</sub>	D <sub>3</sub> -D <sub>4</sub>	Gesamt		
Area < 4,3 mm <sup>2</sup> (Grenzwert -13 %)	29	3	32		
Area ≥ 4,3 mm <sup>2</sup> (Grenzwert -13 %)	3	19	22		
<b>Gesamt</b>	32	22	54	88,9 %	0,77
Area = 0 mm <sup>2</sup> (Grenzwert -40 %)	26	1	27		
Area > 0 mm <sup>2</sup> (Grenzwert -40 %)	6	21	27		
<b>Gesamt</b>	32	22	54	87,0 %	0,75

In Tabelle 19 sind die Akkuratheitswerte und Korrelationskoeffizienten für den QLF-Parameter  $\Delta Q$  dargestellt. Auf Grenzwert -14 % wurden die Okklusalflächen in 88,9 % der Fälle richtig befundet, während es auf Grenzwert-Niveau -44 % 87,0 % waren. Für beide Diagnostik-Grenzwerte wurde eine hohe Korrelation von  $r_{\text{Spearman}} = 0,77$  erreicht.

**Tabelle 19:** Kreuzklassifikation der  $\Delta Q$ - und mikroradiografisch validierten Befunde okklusaler Läsionen auf Schmelz- (D<sub>0</sub>-D<sub>2</sub>) und Dentinkariesniveau (D<sub>3</sub>-D<sub>4</sub>)

QLF-Befunde für $\Delta Q$	MR-Befund			Akk	$r_{\text{Spearman}}$
	D <sub>0</sub> -D <sub>2</sub>	D <sub>3</sub> -D <sub>4</sub>	Gesamt		
$\Delta Q > -94,3 \text{ mm}^2\%$ (Grenzwert -14 %)	29	3	32		
$\Delta Q \leq -94,3 \text{ mm}^2\%$ (Grenzwert -14 %)	3	19	22		
<b>Gesamt</b>	32	22	54	88,9 %	0,77
$\Delta Q = 0 \text{ mm}^2\%$ (Grenzwert -44 %)	25	0	25		
$\Delta Q < 0 \text{ mm}^2\%$ (Grenzwert -44 %)	7	22	29		
<b>Gesamt</b>	32	22	54	87,0 %	0,77



Wurden alle drei QLF-Parameter auf den sechs verschiedenen Grenzwert-Niveaus kombiniert, so wurden eine Akkuratheit von 88,9 % und ein Korrelationskoeffizient von 0,77 gefunden (Tab. 20).

**Tabelle 20:** Kreuzklassifikation der kombinierten QLF- und mikroradiografisch validierten Befunde okklusaler Läsionen auf Schmelz- (D<sub>0</sub>-D<sub>2</sub>) und Dentinkariesniveau (D<sub>3</sub>-D<sub>4</sub>)

QLF-Befunde Kombination	MR-Befund			Akk	r <sub>Spearman</sub>
	D <sub>0</sub> -D <sub>2</sub>	D <sub>3</sub> -D <sub>4</sub>	Gesamt		
<b>Gesund oder Schmelzkaries</b>	29	3	32		
<b>Dentinkaries</b>	3	19	22		
<b>Gesamt</b>	32	22	54	88,9 %	0,77

Die Genauigkeit der einzelnen Diagnostikverfahren wurde weiterhin anhand von Sensitivität, Spezifität, positivem und negativem Vorhersagewert auf Dentinkariesniveau bestimmt (Tab. 21).

**Tabelle 21:** Güteparameter von visueller und röntgenografischer Kariesdiagnostik und QLF auf mikroradiografisch validierten D<sub>3</sub>-Niveau (Angaben in Prozent)

Methode	Se	Sp	PPV	NPV	LR <sup>+</sup>	LR <sup>-</sup>
<b>Visuell</b>	68,2	87,5	57,7	91,7	5,45	0,36
<b>Röntgen</b>	68,2	67,7	34,6	89,5	2,11	0,47
<b>ΔF</b> (Grenzwert -5 %)	90,9	84,4	59,3	97,4	5,82	0,11
<b>ΔF</b> (Grenzwert -49 %)	95,5	75,0	48,8	98,5	3,82	0,06
<b>Area</b> (Grenzwert -13 %)	86,4	90,6	69,7	96,4	9,21	0,15
<b>Area</b> (Grenzwert -40 %)	95,5	81,3	56,0	98,6	5,09	0,06
<b>ΔQ</b> (Grenzwert -14 %)	86,4	90,6	69,7	96,4	9,21	0,15
<b>ΔQ</b> (Grenzwert -44 %)	100,0	78,1	53,3	100,0	4,57	0,00
<b>QLF Kombination</b>	86,4	90,6	69,7	96,4	9,21	0,15

Die höchste Sensitivität wurde mit 100,0 % für den Parameter  $\Delta Q$  auf Grenzwert -44 % erreicht. Sowohl für Area (Grenzwert -40 %) als auch für  $\Delta F$  (Grenzwert -49 %) wurde eine Sensitivität von 95,5 % berechnet. Mit  $\Delta F$  (Grenzwert -5 %) konnten 90,9 % aller erkrankten Okklusallflächen erkannt werden. Wurde die Kombination der QLF-Parameter, Area (Grenzwert -13 %) oder  $\Delta Q$  (Grenzwert -13 %) als Diagnostikmethoden zur Detektion okklusaler Dentinläsionen eingesetzt, wurden 86,4 % der erkrankten Molaren richtig diagnostiziert. Mit der visuellen und röntgenografischen Kariesdiagnostik dagegen wurden nur Sensitivitätswerte von 68,2 % erzielt.

Der Anteil der richtig diagnostizierten Okklusallflächen ohne Dentinkaries war ebenfalls für QLF am höchsten. Sowohl der Parameter Area auf Grenzwert -13 % als auch  $\Delta Q$  (Grenzwert -14 %) bzw. die Kombination aller QLF-Parameter erreichten eine Spezifität von 90,6 %. Für die anderen QLF-Parameter waren die Spezifitätswerte niedriger:  $\Delta F$  (Grenzwert -5 %) 84,4 %,  $\Delta F$  (Grenzwert -49 %) 75,0 %, Area (Grenzwert -40 %) 81,3 % und  $\Delta Q$  (Grenzwert -44 %) 78,1 %. Für die visuelle Kariesdiagnostik nach Ekstrand et al. (1997) wurde eine Spezifität von 87,5 % erzielt. Die Auswertung der Bissflügelaufnahmen führte zu einer Spezifität von 67,7 %.

Mit einem positiven Vorhersagewert von 34,6 % war die Gefahr eines „falsch positiven Befundes“ für das Röntgenverfahren mehr als doppelt so hoch wie für die QLF-Diagnostik durch die Parameter Area (Grenzwert -13 %) und  $\Delta Q$  (Grenzwert -14 %) sowie die Kombination der QLF-Parameter mit jeweils 69,7 %. Nur  $\Delta F$  auf Grenzwert -5 % lag mit einem Wert von 59,3 % noch vor der visuellen Okklusalkariesdiagnostik mit 57,7 %. Die anderen QLF-Parameter  $\Delta F$  (Grenzwert -49 %), Area (Grenzwert -40 %) und  $\Delta Q$  (Grenzwert -44 %) lagen mit 48,8 %, 56,0 % und 53,3 % dahinter.

Ein „falsch negativer Befund“ konnte durch die Verwendung des QLF-Parameters  $\Delta Q$  auf Grenzwert -44 % mit einem negativen Vorhersagewert von 100,0 % ausgeschlossen werden. Die Parameter Area (Grenzwert -40 %),  $\Delta F$  (Grenzwert -49 %) und  $\Delta F$  (Grenzwert -5 %) lagen mit Werten von 98,6 %, 98,5 % und 97,4 % nur knapp dahinter. Ein negativer Vorhersagewert von 96,4 % wurde jeweils von Area (Grenzwert -13 %),  $\Delta Q$  (Grenzwert -14 %) und der Kombination der QLF-Parameter erzielt. Die beiden konventionellen Methoden zur Okklusalkariesdiagnostik erreichten Werte von 91,7 % (visuell) und 89,2 % (Röntgen).

Um die klinische Relevanz der Methoden näher zu bestimmen, wurden die positiven ( $LR^+$ ) und negativen ( $LR^-$ ) Likelihood Ratios bestimmt. Die Wahrscheinlichkeit, eine okklusale Dentinkaries zu diagnostizieren, war mit den QLF-Parametern  $\Delta Q$  (Grenz-

wert -14 %), Area (Grenzwert -13 %) und der Kombination der QLF-Parameter mit  $LR^+ = 9,21$  am höchsten. Während die anderen QLF-Parameter mit Werten für die positive Likelihood Ratio von 3,82 bis 5,82 und die visuelle Kariesdiagnostik mit einem  $LR^+$ -Wert von 5,45 als brauchbare Tests einzustufen sind, ist die Okklusalkariesdiagnostik mittels Bissflügelaufnahmen mit einer positiven Likelihood Ratio von 2,11 nicht geeignet, okklusale Dentinläsionen zu detektieren.

Sehr gute Tests zur Verminderung der Wahrscheinlichkeit, eine Okklusalkaries auf Dentinniveau zu übersehen, sind die QLF-Parameter  $\Delta Q$  (Grenzwert -44 %) und Area (Grenzwert -40 %) bzw.  $\Delta F$  (Grenzwert -49 %) mit negativen Likelihood Ratios von 0,00 und 0,06. Auch die anderen QLF-Parameter sind mit Werten von 0,11 ( $\Delta F$  auf Grenzwert -5 %) und 0,15 (Area auf Grenzwert -13 %,  $\Delta Q$  auf Grenzwert -14 % und QLF Kombination) als brauchbare Tests anzusehen. Mit der visuellen und röntgenografischen Diagnostik zur Detektion okklusaler Dentinkaries ist mit Werten von  $LR^- = 0,36$  bzw. 0,47 keine Senkung des Risikos okklusale Dentinläsionen zu übersehen möglich.

## **6 Diskussion**

Bedingt durch das veränderte klinische Erscheinungsbild okklusaler Läsionen wurde der Fokus in der Kariesdiagnostik verstärkt auf die Entwicklung neuer nicht-invasiver Methoden zur Detektion der Okklusalkaries gelegt. Eine Methode ist QLF, die die Fluoreszenz der Zahnhartsubstanz ausnutzt.

Das Ziel der vorliegenden Studie war es, die Anwendbarkeit von QLF für die Detektion okklusaler Dentinläsionen zu prüfen und mit den konventionellen Methoden der visuellen und röntgenografischen Kariesdiagnostik zu vergleichen, sowie Parameter für die klinische Anwendung zu definieren.

### **6.1 Visuelle Kariesdiagnostik**

Beobachtungen wie die Zerstörung oder Verletzung der Schmelzoberfläche, die Förderung von Demineralisationsprozessen in initial kariösen Fissuren, eine mögliche Keimübertragung in gesunde Fissuren sowie kaum erhöhte Sensitivitäts- und Spezifitätswerte im Vergleich zur alleinigen visuellen Untersuchung führten zu einer kritischen Sicht der Sondierung als Diagnostikmethode an der Okklusalfäche (Parfitt, 1954; Miller und Hobson, 1956; Loesche et al., 1979; Ekstrand et al., 1987; van Dorp et al., 1988; Yassin, 1995; Kühnisch et al., 2003). Auf der Suche nach visuell erkennbaren Zeichen für das Vorhandensein einer Dentinkaries fanden Ekstrand et al. (1995) einen engen Zusammenhang zwischen Verfärbungen der Okklusalfäche und dem histologischen Befund. Anfänglich acht Kriterien für die visuelle Kariesdiagnostik wurden in einer späteren Publikation auf fünf reduziert (Ekstrand et al., 1997), die in der vorliegenden Studie zur visuellen Diagnostik der Okklusalfächen herangezogen wurden. Der Vergleich der visuellen Diagnostikmethode mit dem mikroradiografischen Befund (Tab. 17) zeigte eine Akkuratheit von 79,6 %, wobei der Rangkorrelationskoeffizient nach Spearman von 0,57 nur für eine mittlere Korrelation sprach. Die berechnete Sensitivität von 68,2 % lag über den früher berichteten Werten von 3 bis 50 % für die konventionelle visuelle Kariesdiagnostik (Lussi, 1993; Lussi et al., 1995; Ferreira Zandoná et al., 1998; Verdonschot et al., 1992, 1999). In einer Studie von Ando et al. (1999) wurde mit dem Diagnostiksystem nach Ekstrand et al. (1997) ein Wert von 90,0 % erzielt, der sich jedoch zu Lasten der Spezifität auswirkte, die lediglich 55,2 % betrug. In der vorliegenden Studie wurde eine Spezifität von 87,5 % ermittelt, die mit den in den o.g. Werten von 86 bis 100 % vergleichbar war.

Die von Ekstrand et al. (1997) angegebene hohe Sensitivität von 92 bis 97 % konnte ebensowenig bestätigt werden wie die hohe bis sehr hohe Korrelation zum histologischen Befund ( $r_{\text{Spearman}} = 0,87$  bis  $0,93$ ). Eine Ursache könnte in den unterschiedlich definierten Kriterien für die Validierungsmethoden zu suchen sein. Ekstrand et al. (1995) stellten heraus, dass histologisch eine Dentinreaktion lange bevor der Demineralisationsprozess die Schmelz-Dentin-Grenze erreichte, erkennbar war. Daher definierten die Autoren das Kriterium 2 ihrer histologischen Validierung als Demineralisation, die 50 % des Schmelzes bzw. bis zu einem Drittel des Dentins involviert. Der vorliegenden Studie wurde hingegen die klassische histologische Graduierung zugrunde gelegt. Danach wird eine D<sub>2</sub>-Läsion als Demineralisation, die bis zur inneren Schmelzhälfte vorgedrungen ist, die Schmelz-Dentin-Grenze aber noch nicht durchbrochen hat, definiert. Damit ließen sich die in Tabelle 22 dargestellten falsch negativen Befunde (rot markiert) für das visuelle Kriterium 2 (Opazität oder Braunverfärbung deutlich sichtbar ohne Lufttrocknung) erklären. Eine Braunverfärbung der Okklusalfäche, die mit einer Dentinbeteiligung einhergeht, wäre erst im Grad D<sub>3</sub> erfasst worden.

**Tabelle 22:** Kreuzklassifikation der visuellen und mikroradiografisch validierten Befunde okklusaler Läsionen

Visueller Befund	Mikroradiografischer Befund					Gesamt
	D <sub>0</sub>	D <sub>1</sub>	D <sub>2</sub>	D <sub>3</sub>	D <sub>4</sub>	
<b>0</b>	2	4				6
<b>1</b>	3	4	2			9
<b>2</b>	1	7	5	6	1	20
<b>3</b>		2	2	9	2	15
<b>4</b>				1	3	4
<b>Gesamt</b>	6	17	9	16	6	54

Aufgrund der Schwierigkeiten einen lokalen Schmelzeinbruch in einer opak oder braun verfärbten Fissur von morphologischen Grübchen und Fissurenarealen zu unterscheiden (Ekstrand et al., 1995) ist es allerdings auch nicht ausgeschlossen, dass lokale Schmelzeinbrüche im Fissurenrelief trotz Verwendung einer Lupenbrille und sorgfältiger Befundung nicht erkannt oder überbewertet wurden.

Die  $LR^+$  von 5,45 spricht für die Brauchbarkeit des visuellen Diagnostiksystems nach Ekstrand et al. (1997). Liegt ein positiver Befund vor, werden okklusale Dentinläsionen meist richtig diagnostiziert. Eine  $LR^-$  von 0,36 sagt hingegen aus, dass das Risiko okklusale Dentinläsionen nicht zu diagnostizieren erhöht ist und anhand eines negativen visuellen Befundes keine genaue Aussage über eine fehlende Dentinkaries getroffen werden kann. Bei unklaren Befunden sollte daher nach der visuellen Untersuchung ein ergänzendes Diagnostikverfahren zum Einsatz kommen.

## **6.2 Röntgenografische Kariesdiagnostik**

In der vorliegenden Vergleichsstudie wurden alle 54 Molaren röntgenografisch anhand der von Weerheijm et al. (1992a) definierten Kriterien befundet. Die Gegenüberstellung der röntgenografischen und mikroradiografisch validierten Befunde zeigte eine Akkuratheit von 67,9 % mit einer geringen Korrelation ( $r_{\text{Spearman}} = 0,36$ ). Die Zuhilfenahme von Röntgen-Bissflügelaufnahmen führte in verschiedenen Studien zur Erhöhung der Sensitivität im Vergleich zur alleinigen visuellen Befundung (Wenzel et al., 1991; Lussi, 1993). Aufgrund der bukkolingualen Schmelzausdehnung der Okklusalfäche von etwa 10-11 mm und der damit verbundenen Überlagerung demineralisierter Areale durch nicht erkrankte Bereiche entziehen sich jedoch initial kariöse Läsionen der zweidimensionalen Darstellung auf der Bissflügelaufnahme (Kidd et al., 1993; Ricketts et al., 1994; Lussi, 1996). Ekstrand et al. (1995) fanden demzufolge auch nur eine mittlere Korrelation zwischen röntgenografischem und histologischem Befund für die Detektion von Schmelzläsionen. Diesem Umstand trugen Weerheijm et al. (1992a) Rechnung, indem sie ihre Kriterien ausschließlich auf die Detektion von Dentinläsionen ausrichteten. Die in der vorliegenden Studie ermittelte Sensitivität und Spezifität von 68,2 % bzw. 67,7 % ist mit den angegebenen Werten früherer Studien vergleichbar. Hierbei schwanken die Angaben für die Sensitivität zwischen 51 und 62 % und für die Spezifität zwischen 66 und 100 % (Verdonschot et al., 1992; Ricketts et al., 1995b; Ekstrand et al., 1997; Lussi, 2000). Um das diagnostische Potential von Röntgenaufnahmen zu verbessern, wurden neue Verfahren wie die Xeroradiografie, Radiovisiografie und die digitale Röntgentechnik entwickelt, die mit Hilfe computergestützter Bildanalysen bessere Ergebnisse als die von konventionellen Bissflügelaufnahmen erbrachten (Wenzel et al., 1991). Der große Nachteil dieser Verfahren sind die erforderlichen teuren Spezialausrüstungen, die die Umsetzung in die zahnärztliche Praxis limitieren.

Um die Strahlenbelastung für den Patienten zu minimieren, wurde von Ludlow et al. (2001) die Verwendung der seit 2000 auf dem Markt erhältlichen Insight Dental Filme empfohlen. Die Autoren verwandten gemäß den Erwartungen an das neue Filmmaterial eine geringere Strahlendosis. In der vorliegenden Studie wurde in Übereinstimmung mit Ludlow et al. (2001) ein schlechterer Kontrast der Insight Filme festgestellt. Dies könnte sich in dem niedrigen Korrelationskoeffizienten widerspiegeln. Ein positiver Vorhersagewert von nur 34,6 % deutet auf die Gefahr vermehrter „falsch positiver Befunde“ hin. Eine Ursache ist in der Überbewertung von Läsionen im äußeren Dentindrittel zu suchen. Espelid et al. (1994) hatten in ihrer Untersuchung die Aufmerksamkeit auf einen möglichen Mach-Band-Effekt im äußeren Dentindrittel gerichtet und vor einer Überbehandlung falsch positiv befundeter Molaren gewarnt. Wie Tabelle 26 entnommen werden kann, wurde bei 10 Molaren röntgenografisch eine Dentinkaries diagnostiziert, obwohl diese tatsächlich nur eine Demineralisation im Schmelz aufwiesen. Möglicherweise kamen die von Ludlow et al. (2001) beobachteten Kontrastunterschiede bei den Untersuchern, die bislang mit Kodak Ektaspeed Plus Filmen arbeiteten und somit keine Erfahrungen mit dem neuen Filmmaterial hatten, in einer Überbewertung von Dentinläsionen zum Tragen. Dies könnte die Erklärung für eine Spezifität von nur 67,7 % sein. Eine Unterbelichtung wurde nicht festgestellt, obwohl die Belichtungszeit mit 0,26 s bei einer Spannung von 65 kV unter der von Ektaspeed Plus Filmen lag. Gründe für die geringe Sensitivität von 68,2 % waren die falsch negativen Befunde von sieben Molaren auf dem D<sub>3</sub>- und D<sub>4</sub>-Niveau (Tab. 23, grün markiert). Während auf D<sub>4</sub>-Niveau lediglich ein Zahn (16,7 %) röntgenografisch nicht richtig beurteilt wurde, waren es auf D<sub>3</sub>-Niveau 6 Molaren (37,5 %). Dies bestätigte die Ergebnisse früherer Studien, dass die Penetration der Karies häufig weiter fortgeschritten ist, als es dem Röntgenbild entnommen werden kann (van Amerongen et al., 1992; Lussi et al., 1995). Die Werte der Likelihood Ratio mit Werten von 2,11 für LR<sup>+</sup> und 0,47 für LR<sup>-</sup> sprachen somit auch nur begrenzt für die klinische Brauchbarkeit von Röntgenaufnahmen zur Detektion versteckter okklusaler Läsionen. Insgesamt lag eine hohe Wahrscheinlichkeit für falsch positive und negative Befunde vor. Der diagnostische Nutzen des Röntgenbildes ist dennoch nicht zu unterschätzen. Eine Karies, die bereits im Röntgenbild sichtbar ist, weist signifikant häufiger eine Infektion mit Laktobazillen und Mutans-Streptokokken auf als eine röntgenografisch nicht sichtbare Läsion (Ricketts et al., 1995a). Vorhandene Bissflügelaufnahmen sollten daher nicht nur zur Approximalkariesdiagnostik sondern

auch zur Diagnostik versteckter Dentinläsionen herangezogen werden (Kidd et al., 1993; Weerheijm et al., 1989, 1992a, 1992b; Hintze et al. 1994).

**Tabelle 23:** Kreuzklassifikation der röntgenografischen und mikroradiografisch validierten Befunde okklusaler Läsionen

Röntgenografischer Befund	Mikroradiografischer Befund					Gesamt
	D <sub>0</sub>	D <sub>1</sub>	D <sub>2</sub>	D <sub>3</sub>	D <sub>4</sub>	
0	3	10	7	6	1	27
2	3	5	2	10	5	25
X		1				
Gesamt	6	16	9	16	6	54

### 6.3 Kariesdiagnostik mit QLF

Das Hauptaugenmerk beim Einsatz von QLF im Rahmen der vorliegenden Studie lag auf der Frage, ob mit der Methode überhaupt eine Diagnostik okklusaler Dentinläsionen möglich ist und welcher Grenzwert des Fluoreszenzverlustes eine Aussage über das Vorhandensein einer Dentinkaries erlaubt. Van der Veen und de Josselin de Jong (2000) wiesen darauf hin, dass QLF primär nicht zur Differenzierung von Schmelz- und Dentinläsionen konstruiert wurde, da der mit QLF gemessene Fluoreszenzverlust abhängig von dem jeweiligen Kameratyp des Systems ist und somit systemabhängig definiert werden muss (Lagerweij et al., 1999).

In dieser Studie lag der Fokus auf der Differenzierung zwischen Schmelz- und Dentinkaries der Okklusalfäche anhand der drei QLF-Parameter  $\Delta F$ , Area und  $\Delta Q$ . Die Sensitivität und Spezifität von QLF schwankten in Abhängigkeit von der Nutzung der Einzelparameter zwischen 86,4 und 100,0 % bzw. zwischen 75,0 und 90,6 %. Ando et al. (1999) ermittelten für die Detektion okklusaler Dentinläsionen mit QLF eine Sensitivität von 92,0 % und eine Spezifität von lediglich 56,0 %. Die Autoren nutzten für ihre Diagnostik jedoch nicht die quantitativen QLF-Parameter, sondern beurteilten die Fluoreszenzbilder ausschließlich visuell. Die einzige Studie, die einen Fluoreszenzverlust von 20 % als Entscheidungskriterium für die An- oder Abwesenheit einer okklusalen Dentinkaries heranzog, wurde von Tranæus et al. (1997) durchgeführt. Die Autoren ermittelten eine Sensitivität von 0,71 und eine Spezifität von 0,73. Eine Untersuchung der QLF-Parameter Area und  $\Delta Q$  fand nicht statt. In der vorliegenden Studie wurde eine



Sensitivität von 90,9 % und eine Spezifität von 84,4 % erzielt, wenn auf dem Grenzwert-Niveau von -5 % ein Fluoreszenzverlust  $< -14$  % als Kriterium für das Vorliegen einer Dentinkaries herangezogen wurde. Für die beobachteten höheren Sensitivitäts- und Spezifitätswerte könnte einerseits die unterschiedliche Kamera-Ausstattung der QLF-Systeme und andererseits auch die Auswahl des Untersuchungsmaterials verantwortlich sein (Lussi, 1996; Lagerweij et al., 1999).

Aus den vorliegenden Ergebnissen wird deutlich, dass nicht nur  $\Delta F$  sondern auch die QLF-Parameter Area und  $\Delta Q$  zur Differenzierung von Schmelz- und Dentinkaries zur Anwendung kommen können. Bisher wurden diese Parameter aus den Überlegungen zur Detektion von Läsionen ausgeschlossen, da eine große Läsionsfläche nicht zwangsläufig eine Dentinkaries impliziert bzw. eine kleine Läsionsoberfläche auch mit einer Dentinbeteiligung einhergehen kann. Zwei Beispielrechnungen erhellen diese Problematik:

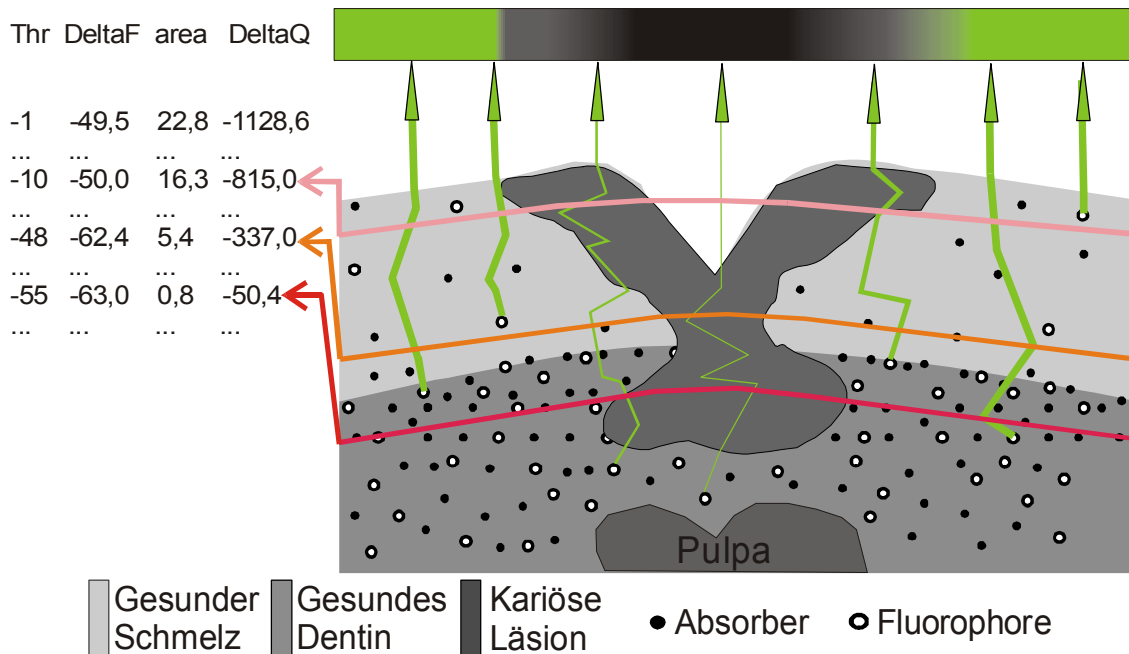
Fall 1:  $\Delta F = -17,4$  %; Area =  $5,3 \text{ mm}^2$

$$\Delta Q = \Delta F \times \text{Area} = -17,4 \% \times 5,3 \text{ mm}^2 = \underline{\underline{-92,22 \text{ mm}^2\%}}$$

Fall 2:  $\Delta F = -5,3$  %; Area =  $17,4 \text{ mm}^2$

$$\Delta Q = \Delta F \times \text{Area} = -5,3 \% \times 17,4 \text{ mm}^2 = \underline{\underline{-92,22 \text{ mm}^2\%}}$$

Während im Fall 1 eine Läsion mit hohem Fluoreszenzverlust eine tiefe Läsion mit kleiner Läsionsfläche widerspiegelt, reflektiert Fall 2 eine oberflächliche Läsion mit einer großen Läsionsfläche. Die  $\Delta Q$ -Werte sind gleich. De Josselin de Jong et al. (1996) sowie van der Veen und de Josselin de Jong (2000) gingen in ihren Überlegungen zum Parameter Area vom Aussehen einer initialen Glattflächenläsion aus, wobei die Läsion ihre größte Ausdehnung an der Oberfläche besitzt und in die Tiefe hin kleiner wird. Bei einer Dentinläsion weist jedoch nicht zwangsläufig die Oberfläche der Läsion auch die größte flächenmäßige Ausdehnung auf. Häufig ist an der Schmelz-Dentin-Grenze die engste Stelle der kariösen Läsion zu finden, während sich die Läsion im Dentin weiter ausdehnt (Abb. 21).



**Abb. 21:** Schematische Darstellung des Zusammenhanges zwischen den QLF-Parametern anhand einer okklusalen Dentinkaries

Die Frage der Nutzbarkeit der Parameter Area und  $\Delta Q$  für die Differenzierung von einer Schmelz- und Dentinkaries kann nur dann beantwortet werden, wenn die zugehörige Grenzschrift (synonym: Grenzwert-Niveau, Grenzwert) mit in die Betrachtungen einbezogen wird. Wie in Abbildung 21 zu erkennen ist, werden die Werte des Parameters Area mit zunehmender Eindringtiefe kleiner. Dies heißt jedoch nicht, dass die Läsionsfläche tatsächlich kleiner ist; der kariöse Prozess befindet sich mit einer breiten Basis im Dentin. Nach den vorliegenden Ergebnissen ist davon auszugehen, dass der Parameter Area nicht die tatsächliche Läsionsausdehnung angibt, sondern vielmehr die Fläche des messbaren Fluoreszenzverlustes in der zugehörigen Grenzschrift (Thr = threshold) darstellt. Würde man Area als „Läsionsfläche“ definieren, so müsste im Beispiel auf Grenzwert -48 % eine kleinere Fläche, als auf Grenzwert -55 % zu messen sein. Dies ist aber nicht der Fall, da auf Grenzwert -48 % nicht die tatsächliche Läsionsausdehnung sondern nur die Fläche des maximalen Fluoreszenzverlustes in dieser Grenzschrift mit dem Parameter Area angegeben wird. Ob sich der kariöse Prozess im Schmelz oder Dentin befindet, kann also nur mit der dazugehörigen Grenzschrift geklärt werden. In dieser Studie wurde für eine okklusale Dentinkaries auf Grenzwert-Niveau -13 % eine Fläche, die größer als  $4,3 \text{ mm}^2$  ist, als Dentinkaries definiert. Für diese Rahmenbedingungen wurde die Akkuratheit von 88,9 % und ein Korrelationsfaktor von  $r_{\text{Spearman}} = 0,77$  zum mikroradiografischen Befund bestimmt.

Zur Frage, ob der Parameter  $\Delta Q$  für die Diagnostik okklusaler Dentinläsionen verwendbar ist, sind ähnliche Überlegungen wie für den Parameter Area notwendig. Da  $\Delta Q$  das rechnerische Produkt aus Area und  $\Delta F$  ist, könnte ein kleiner  $\Delta Q$ -Wert durch kleine Werte der beiden Faktoren entstehen. Dies würde für eine tiefe Läsion mit einer kleinen Fläche sprechen, da  $\Delta F$  als negativer Wert in die Formel eingeht. Auch wenn  $\Delta F$  einen Wert gegen 0 % annehmen und der Area-Wert eine große „Läsionsfläche“ beschreiben würde, wäre das Ergebnis für  $\Delta Q$  nicht sehr deutlich, da es sich hierbei scheinbar um eine oberflächliche Läsion handeln würde (siehe Beispielrechnung). Oberflächlich betrachtet, mag diese Schlussfolgerung stimmen. Auch hier muss wieder auf den Zusammenhang zwischen der Grenzschicht und den QLF-Parametern verwiesen werden. In dieser Studie wurde ein  $\Delta Q$ -Wert unter  $-94,3 \text{ mm}^2\%$  auf Grenzwert-Niveau  $-14 \%$  für das Vorliegen einer Dentinkaries definiert. Die Akkuratheit betrug  $88,9 \%$ ; für die Korrelation zum Goldstandard wurde ein Wert von  $r_{\text{Spearman}} = 0,77$  bestimmt. Die Spezifität war für die bisher nicht beachteten Parameter Area und  $\Delta Q$  mit jeweils  $90,6 \%$  höher als für den  $\Delta F$ -Wert ( $84,4 \%$ ) auf Grenzwert-Niveau  $-5 \%$ . Die Sensitivität lag jedoch mit jeweils  $86,4 \%$  unter der für  $\Delta F$  ( $90,9 \%$ ).

Ein neuer Denkansatz zur Bestimmung eines Grenzwertes zur Differenzierung einer Schmelz- und Dentinkaries war die Beobachtung, dass alle Parameter ab einem bestimmten Grenzwert-Niveau den Betrag 0,0 annehmen. Für  $\Delta F$  wurde offensichtlich, dass auf dem Grenzwert-Niveau von  $-49 \%$  unabhängig von der Größe des Fluoreszenzverlustes eine Dentinkaries gemessen wird. Für den Parameter Area wurde das kritische Grenzwert-Niveau auf  $-40 \%$  und für  $\Delta Q$  auf  $-44 \%$  anhand der statistischen Analysen festgelegt. Die Akkuratheit betrug bei diesem Vorgehen für  $\Delta F$   $83,3 \%$  und für die Parameter Area und  $\Delta Q$  jeweils  $87,0 \%$ . Die hohen Sensitivitätswerte von  $95,5$  bis  $100,0 \%$  gingen zu Lasten der Spezifitätswerte, die mit Werten zwischen  $75,0$  und  $81,3 \%$  unter denen der „konventionellen“ Befundung lagen.

Um eine möglichst hohe Absicherung gegen falsch positive oder negative Befunde zu ermöglichen, wurde die Kombination aller drei QLF-Parameter auf den sechs unterschiedlichen Grenzwert-Niveaus durchgeführt (siehe Kapitel 4.2.3). Hierbei konnte eine Akkuratheit von  $88,9 \%$  und eine hohe Korrelation mit  $r_{\text{Spearman}} = 0,77$  überzeugen. Die etwas geringere Sensitivität von  $86,4 \%$  wurde durch die höhere Spezifität von  $90,6 \%$  aufgewogen und würde die Methode für den klinischen Gebrauch geeignet erscheinen lassen, da die Summe aus Sensitivität und Spezifität  $160 \%$  überstieg (Hausen, 1997).

Die Kombination der QLF-Parameter war als die brauchbarste QLF-Methode zur Detektion okklusaler Dentinläsionen anzusehen. Die positive Likelihood Ratio von 9,21 sprach für eine hohe Sicherheit, dass tatsächlich - auch bei intakt erscheinender Schmelzoberfläche - eine Dentinkaries vorlag, wenn die Parameter einen positiven Befund anzeigten. Wurde hingegen signalisiert, dass die Okklusalfäche gesund war bzw. eine Schmelzkaries vorlag, war bei einer negativen Likelihood Ratio von 0,15 ebenfalls mit hoher Wahrscheinlichkeit davon auszugehen, dass eine richtige Diagnose gestellt wurde. Es konnte weiterhin gezeigt werden, dass nur  $\Delta F$  auf Grenzwert-Niveau -5 %, Area auf Grenzwert-Niveau -13 % und  $\Delta Q$  auf Grenzwert-Niveau -14 % eine sinnvolle Kombination zur Okklusalkariesdiagnostik darstellen. Damit wäre eine Vereinfachung durch die Kombination von nur drei Parametern möglich und sinnvoll.

Anhand der vorliegenden In-vitro-Resultate war QLF am besten für die Diagnostik okklusaler Dentinläsionen geeignet. Im Vergleich zur visuellen und röntgenografischen Kariesdiagnostik waren die Genauigkeitsparameter auf Dentinkariesniveau deutlich besser.

Mit dieser In-vitro-Arbeit wurden die Grundlagen für den klinischen Einsatz von QLF zur Okklusalkariesdiagnostik aufgezeigt. QLF könnte bei suspekten visuellen Befunden als ergänzende Diagnostikmethode für die Detektion versteckter okklusaler Dentinläsionen zum Einsatz kommen. Die Vorteile von QLF sind:

1. Keine Strahlenbelastung und geringer Zeitaufwand für den Patienten,
2. Beobachtung und Beurteilung von Präventivmaßnahmen,
3. Therapienotwendigkeit kann dem Patienten anhand des Fluoreszenzbildes objektiv erklärt werden.

Die Anfertigung von Röntgen-Bissflügelaufnahmen ist derzeit dennoch das zu bevorzugende praxistaugliche ergänzende Kariesdiagnostikverfahren, da QLF aufgrund der zeitaufwändigen Handhabung und zum Teil noch nicht ausgereiften Auswertungsoftware vorerst wissenschaftlichen Fragestellungen vorbehalten bleibt. Auch das seit 1998 auf dem Markt befindliche laseroptische Gerät DIAGNOdent (KaVo, Biberach, Deutschland) kann die Röntgentechnik nicht ersetzen, da die Anwendung analog zu QLF ebenfalls auf Okklusal- und Glattflächen beschränkt bleibt. Vergleichsuntersuchungen mit QLF attestierten darüber hinaus QLF eine höhere Sensitivität und Spezifität als dem DIAGNOdent-Gerät (Shi et al., 2001).

Wünschenswert wären also eine einfache und zeitsparende Auswertung der Fluoreszenzbilder sowie die Integration einer Weißlichtquelle. Damit stünde dem Zahnarzt ein multifunktionelles intraorales Kamerasystem zur Verfügung.

## 7 Schlussfolgerungen

Die vorliegende mikroradiografisch validierte In-vitro-Studie zur vergleichenden Bewertung von QLF mit der visuellen und röntgenografischen Kariesdiagnostik zur Detektion okklusaler Dentinläsionen lässt die Schlussfolgerung zu, dass QLF als eine sensitive und spezifische Methode den beiden konventionellen Verfahren überlegen ist. Die von Ekstrand et al. (1997) definierten Kriterien führten zwar zu einer Erhöhung der Sensitivität auf 68,2 %, die jedoch noch weit unter der von QLF angesiedelt war. Aufgrund ihrer einfachen Durchführbarkeit sowie des geringen Kosten- und Zeitaufwandes sollte dennoch die visuelle Diagnostik immer die Erstuntersuchung in der zahnärztlichen Praxis sein. Bei klinisch suspekten Fissuren ist jedoch die Anwendung zusätzlicher Diagnostikmethoden erforderlich, um eine sichere Therapieentscheidung treffen zu können. In Zukunft könnte QLF aufgrund der hohen Sensitivität (86,4 %) und Spezifität (90,6 %) für die Diagnostik okklusaler Dentinkaries der röntgenografischen Untersuchung vorzuziehen sein. Mit QLF ist eine nicht invasive Methode vorhanden, die jederzeit wiederholt und somit auch zur Kariesverlaufskontrolle herangezogen werden kann. Die mit QLF angefertigten Fluoreszenzbilder dienen darüber hinaus nicht nur zur Diagnostik kariöser Läsionen. Auch der Einfluss präventiver Maßnahmen, sowie der Mundhygiene des Patienten können direkt am Computermonitor betrachtet und mit dem Patienten evaluiert werden. Die erfolgreiche klinische Anwendung von QLF an Glattflächen und im Randbereich von Füllungsmaterialien lassen QLF ebenfalls als eine alternative Kariesdiagnostikmethode zu dem auf dem Markt befindlichen laseroptischen DIAGNOdent-Gerät erscheinen.

Dennoch bleibt QLF vorerst wissenschaftlichen Fragestellungen vorbehalten, da die Auswertung der Fluoreszenzbilder derzeit aus Zeit- und Kostengründen für die zahnärztliche Praxis nicht praktikabel ist. Damit bleibt die Röntgendiagnostik zunächst die Absicherungsmethode der Wahl, da die konventionelle Bissflügelaufnahme neben dem Befund an der Okklusalfäche auch Informationen über mögliche Approximalflächenkaries, die Qualität von Füllungen sowie den Zustand des parodontalen Knochens erlaubt.

Die in der vorliegenden Studie definierten Kriterien der QLF-Parameter zur Differenzierung von Schmelz- und Dentinkaries sind die Grundlage für eine klinische Pilotstudie. Dabei konnte grundsätzlich gezeigt werden, dass alle drei QLF-Parameter -  $\Delta F$ , Area und  $\Delta Q$  - für die Diagnostik okklusaler Dentinkaries herangezogen werden können. Um die Diagnostik-Sicherheit zu erhöhen sollte eine Kombination der drei

Parameter verwendet werden. Dies sollte durch eine Weiterentwicklung der Software automatisch erfolgen, so dass der Zeitaufwand zur Auswertung von QLF erheblich reduziert werden kann.

## 8      **Literaturverzeichnis**

1. Al- Khateeb, S., Oliveby, A., de Josselin de Jong, E. and Angmar- Månsson, B. (1997b) Laser fluorescence quantification of remineralisation in situ of incipient enamel lesions: influence of fluoride supplements. *Caries Res* 31:132-140 .
2. Al- Khateeb, S., Forsberg C.-M., de Josselin de Jong, E. and Angmar- Månsson, B. (1998) A longitudinal laser fluorescence study of white spot lesions in orthodontic patients. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 113:595- 602.
3. Al- Khateeb, S., ten Cate, J. M., Angmar- Månsson, B., de Josselin de Jong, E., Sundström, G., Exterkate, R. A. M. and Oliveby, A. (1997a) Quantification of formation and remineralisation of artificial enamel lesions with a new portable fluorescence device. *Adv Dent Res* 11:502-506.
4. Anderson, M. H., Bales, D. J., Omnell, K. A. (1993) Modern management of dental caries: The cutting edge is not the dental bur. *J Am Dent Assoc* 124:37-44.
5. Ando, M., van der Veen, M. H., Schemehorn B. R., Stookey G. K. (2001) Comparative study to quantify demineralized enamel in deciduous and permanent teeth using laser- and light-induced fluorescence techniques. *Caries Res* 35:464-470.
6. Ando, M., Eggertsson, H., Isaacs, R. L., Analoui, M. and Stookey, G. K.: Comparative studies of several methods for the early detection of fissure lesions. In: Stookey, G. K. (ed): Early detection of dental caries II: Proceedings of the 4<sup>th</sup> annual Indiana Conference. Indiana University School of Dentistry (1999) S. 279-300.
7. Ando, M., Hall, A. F., Isaacs, R. L., Beiswanger, B. B., Blachman, D. F. and Stookey, G. K. (1996) Comparison of clinical, Quantitative Laser Fluorescence and Dye-Enhanced Laser Fluorescence techniques for occlusal-carries detection. *Caries Res* 30:274.



8. Ando, M., Hall, A. F., Eckert, G. J., Schemenhorn, B. R., Analoui, M. and Stookey, G. K. (1997) Relative ability of laser fluorescence techniques to quantitate early mineral loss in vitro. *Caries Res* 31:125- 131.
9. Angmar-Månsson, B., Al-Katheeb, S. and Tranæus, S.: Quantitative Light-induced Fluorescence: Current Research. In: Stookey, G. K. (ed): Early detection of dental caries II: Proceedings of the 4<sup>th</sup> annual Indiana Conference. Indiana University School of Dentistry (1999) S. 203-217.
10. Basting, R. T. and Serra, M. C. (1999) Occlusal caries: Diagnosis and noninvasive treatments. *Quintessence Int* 30:174-178.
11. Benedict, H. C. (1928) Note on the fluorescence of teeth in ultraviolet rays. *Science* 67:442.
12. Bergman, G. and Lindén, L. A. (1969) The action of the explorer on incipient caries. *Svensk Tandläkare Tidsskrift* 62:629-634.
13. Bjelkhagen, H., Sundström, F., Angmar-Månsson, B. and Rydén, H. (1982) Early detection of enamel caries by the luminescence excited by visible laser light. *Swed Dent J* 6:1-7.
14. Black, G. V.: Konservierende Zahnheilkunde. Bd. 1 u. 2 Meusser, Berlin (1924).
15. Bratthall, D., Petersson, G. H. and Sundberg, H. (1996) Reasons for caries decline. What do experts believe? *Eur J Oral Sci* 1004:416-422.
16. Bühl, A. und Zöfel, P.: SPSS Version 10. Einführung in die moderne Datenanalyse unter Windows. Addison Wesley-Verlag, München (2000) S. 242.
17. Carvalho, J. C., Ekstrand, K. R. and Thylstrup, A. (1989) Dental plaque and caries on occlusal surface of first permanent molars in relation to stage of eruption. *J Dent Res* 68:773-779.

18. Cheyne, V. D. and Horne, H. M. (1948) Value of roentgenography in detection of carious lesions. *J Dent Res* 27:56-64.
19. Côrtes, D. F., Ekstrand, K. R., Elias-Boneta, A. R. and Ellwood, R. P. (2000) An in vitro comparison of the ability of fibre-optic transillumination, visual inspection and radiographs to detect occlusal caries and evaluate lesion depth. *Caries-Res.* 34:443-447.
20. Davidsohn, F. (1910) Röntgenstrahlen und Zahnheilkunde. *Zahnärztl Rdsch* 19:479-480.
21. Crabb, H.S.M. (1976) Fissures at risk. *Br Dent J* 140:303-307.
22. de Josselin de Jong, E., Hall, A. F. and van der Veen, M. H.: Quantitative light-induced fluorescence detection method: a Monte Carlo simulation model. In: Stookey, G. K. (ed.): Early detection of dental caries: Proceedings of the 1<sup>st</sup> annual Indiana Conference. Indianapolis, Indiana University (1996) 91-104.
23. de Josselin de Jong, E., Sundström, F., Westerling, H., Tranæus, S., ten Bosch, J. J. and Angmar-Månsson, B. (1995) A new method for in vivo quantification of changes in initial enamel caries with laser fluorescence. *Caries Res* 29:2-7
24. DeSchepper, E. J., Hall, A. F., de Josselin de Jong, E., Benedict, S., Analoui, M., Ando, M., Beiswanger, B. B., Dixon, S. E., Willis, G. P. and Stookey, G. K.: Demineralisation detection adjacent to amalgam using quantitative laser fluorescence and dye-enhanced laser fluorescence. In: Stookey, G. K. (ed.): Early detection of dental caries: Proceedings of the 1<sup>st</sup> annual Indiana Conference. Indianapolis, Indiana University (1996) 165-182.
25. Eggertsson, H., Analoui, M., van der Veen, M. H., Gonzalez-Cabezas, C., Eckert, G. and Stookey, G. K. (1999) Detection of early interproximal caries in vitro using laser fluorescence, dye-enhanced laser fluorescence and direct visual examination. *Caries Res* 33:227-233.

26. Ekstrand, K., Qvist, V. and Thylstrup, A. (1987) Light microscope study of the effect of probing in occlusal surfaces. *Caries Res* 21:368-374.
27. Ekstrand, K. R., Ricketts, D. N. and Kidd, E. A. (1997) Reproducibility and accuracy of three methods for assessment of demineralization depth of the occlusal surface: an in vitro examination. *Caries Res* 31:224-231.
28. Ekstrand, K. R., Kuzima, I., Bjorndal, L. and Thylstrup, A. (1995) Relationship between external and histologic features of progressive stages of caries in the occlusal fossa. *Caries Res* 29:243-250.
29. Ekstrand, K. R., Ricketts, D. N. J., Kidd, E. A. M., Qvist, V. and Schou, S. (1998) Detection, diagnosing, monitoring and logical treatment of occlusal caries in relation to lesion activity and severity: An in vivo examination with histological validation. *Caries Res* 32:247-254.
30. Emami, Z., Al- Katheeb, S., de Josselin de Jong, E., Sundström, F., Trollsas, K., Angmar- Månsson, B. (1996) Mineral loss in incipient caries lesions quantified with laser fluorescence and longitudinal microradiography. *Acta Odont Scand* 54:8-13.
31. Espelid, I., Tveit, A. B. and Fjelltveit, A. (1994) Variation among dentists in radiographic detection of occlusal caries. *Caries Res* 27:169-175.
32. Ferreira Zandoná, A. G., Analoui, M., Schemenhorn, R., Eckert, G. J. and Stookey, G. K. (1998a) Laser fluorescence detection of demineralization in artificial occlusal fissures. *Caries Res* 32:31-40.
33. Ferreira Zandoná, A. G., Analoui, M., Beiswanger, B. B., Isaacs, R. L., Kafrawy, A. H., Eckert, G. J. and Stookey, G. K. (1998b) An in vitro comparison between laser fluorescence and visual examination for detection of demineralization in occlusal pits and fissures. *Caries Res* 32:210-218.
34. Fleiss, I. L.: Statistical methods for rates and proportions. 2. ed. Wiley, New York (1981) S. 212-225.

35. Glass, R. L. (ed.) (1982) The first international conference on the declining prevalence of dental caries. *J Dent Res* 61:1301-1383.
36. Hafström-Björkman, U., Sundström, F., de Josselin de Jong, E., Oliveby, A. and Angmar-Månsson, B. (1992) Comparison of laser fluorescence and longitudinal microradiography for quantitative assessment of in vitro enamel caries. *Caries Res* 26:241-247.
37. Hall, A. F., DeSchepper, E., Ando, M. and Stookey, G. K. (1997) In vitro studies of laser fluorescence for detection and quantification of mineral loss from dental caries. *Adv Dent Res* 11:507- 514.
38. Hausen, H. (1997) Caries prediction - state of art. *Community Dent Oral Epidemiol* 25:87-96.
39. Heinrich-Weltzien, R., Senkel, H., Tietze, W. and Stöber, L. (1997) Prevalence and distribution of caries in 12-year-olds in two German areas. *Caries Res* 31:293.
40. Heinrich-Weltzien, R., Kühnisch, J., Senkel, H. und Stöber, L. (1998) Welchen Beitrag leistet die Fissurenversiegelung zur Zahngesundheit Oralprophylaxe 20:146-154.
41. Heinrich-Weltzien, R., Kühnisch, J., Weerheijm, K. und Stöber, L. (2001) Diagnostik der versteckten Okklusalkaries mit Bissflügel-Aufnahmen. *Dtsch Zahnärztl Z* 56:476-480.
42. Hintze, H., Wenzel, A. and Larsen, A. J. (1995) Stereomicroscopy, film radiography, microradiography and naked-eye inspection of tooth sections as validation for occlusal caries diagnosis. *Caries Res* 29:359-363.
43. Hujoel, P. P., Mäkinen, K. K., Bennett, C. B., Isokangas, P. J., Isotupa, K. P., Pape Jr., H. R., Lamont, R. J., DeRouen, T. A. and Davis, S. (1995) Do caries explorers transmit infections with persons? An evaluation of second molar caries onsets. *Caries Res* 29:461-466.

44. Ismail, A. (1997) Clinical diagnosis of precavitated carious lesions. *Community Dent Oral Epidemiol* 25:13-23.
45. Jackson, D. (1950) The clinical diagnosis of dental caries. *Brit Dent J* 88:207-213.
46. Kidd, E. A. M., Naylor, M. N. and Wilson, R. F. (1992) Prevalence of clinically undetected and untreated molar occlusal dentine caries in adolescents on the Isle of Wight. *Caries Res* 26:397-401.
47. Kidd, E. A. M., Ricketts, D. N. J. and Pitts, N. B. (1993) Occlusal caries diagnosis: A changing challenge for clinician and epidemiologists. *J Dent* 21:323-331.
48. König, K. G. (1963) Dental morphologie in relation to caries resistance with special reference to fissures as susceptible area. *J Dent Res* 42:461-476.
49. König, K. G. (1966) Findings in serially sectioned teeth showing early fissure lesions. *Adv Fluorine Res* 4:73-79.
50. Kühnisch, J.: Zahngesundheit sowie Häufigkeit und Qualität der Fissurenversiegelung bei 8- und 14-jährigen. Dissertation, Jena (1998).
51. Kühnisch, J., Dietz, W., Butz, C. L. und Heinrich-Weltzien, R. (2003) Ist die zahnärztliche Sonde noch ein zeitgemäßes Diagnostikinstrument? *Quintessenz* 54:1049-1054.
52. Kühnisch, J., Heinrich-Weltzien, R., Senkel, H., Clasen, A. B. and Stösser, L. (2001) Dental health and caries topography in 8-yr-old German and immigrant children. *Eur J Paediatr Dent* 2:191-196.
53. Künzel, W.: Lehrbuch der Kinderstomatologie. Johann Ambrosius Barth Verl., Leipzig (1979).

54. Lagerweij, M. D., van der Veen M. H., Ando, M., Lukantsova, L. and Stookey, G. K. (1999) The validity and repeatability of three light-induced fluorescence systems: an in vitro study. *Caries Res* 33:220-226.
55. Loesche, W. J., Svanberg, M. L. and Pape, H. R. (1979) Intraoral transmission of *Streptococcus mutans* by the dental explorer. *J Dent Res* 58:1765-1770.
56. Ludlow, J. B., Abreu, M. Jr. and Mol, A. (2001) Performance of a new F-speed film for caries detection. *Dentomaxillofac-Radiol.* 30:110-113.
57. Lussi, A. (1993) Comparison of different methods for the diagnosis of fissure caries without cavitation. *Caries Res* 27:409-416.
58. Lussi, A. (1996) Impact of including or excluding cavitated lesions when evaluating methods for the diagnosis of occlusal caries. *Caries Res* 30:389-393.
59. Lussi, A. (2000) Laserinduzierte Fluoreszenz zur Erkennung der Okklusalkaries. Erste In-vivo-Resultate. *Acta Med Dent Helv* 5:15-19.
60. Lussi, A. and Hibst, R.: Methods for occlusal caries detection used in daily practice. In: Stookey, G. K. (ed): *Early Detection of Dental Caries II: Proceedings of the 4th Annual Indiana Conference*. Indiana University School of Dentistry (1999) S. 57-73.
61. Lussi, A., Hotz, P. und Stich, H. (1995) Die Fissurenkaries. Diagnostik und therapeutische Grundsätze. *Dtsch Zahnärztl Z* 50:629-634.
62. Marthaler, T. M., Steiner, M. und Bandi, A. (1990) Werden verfärbte Molarenfissuren innerhalb von vier Jahren häufiger kariös als nichtverfärbte? *Schweiz Monatsschr Zahnmed* 100:841-848.
63. Marthaler, T. M., O'Mullane, D. M. and Vrbic, V. (1996) The prevalence of dental caries in Europe 1990-1995. *Orca Saturday Afternoon Symposium 1995*. *Caries Res* 30:237-255.

64. Miller, J. and Hobson, P. (1956) Determination of the presence of caries in fissures. *Br Dent J* 100:15-18.
65. Nair, M. K. and Nair, U. P. (2001) An in-vitro evaluation of Kodak Insight and Ektaspeed Plus film with a CMOS detector for natural proximal caries: ROC analysis. *Caries Res* 35:354-359.
66. Parfitt, G. I. (1954) A standard clinical examination of the teeth. *Br Dent J* 96:296-300.
67. Pine, C. M. and ten Bosch, J. J. (1996) Dynamics of and diagnostic methods for detecting small carious lesions. *Caries Res* 30:381-388.
68. Pitts, N. B. (1996) The use of bitewing radiographs in the management of dental caries: scientific and practical considerations. *Dentomaxillofac Radiol* 25:5-16.
69. Pitts, N. B. and Kidd, E. A. M. (1992) Some of the factors to be considered in the prescription and timing of bitewing radiography in the diagnosis and management of dental caries. *J Dent* 20:74-84.
70. Poorterman, J. H., Weerheijm, K. L., Groen, H. J. and Kalsbeek, H. (2000) Clinical and radiographic judgement of occlusal caries in adolescents. *Eur J Oral Sci* 108:93-98.
71. Raper, H. R. (1925) Practical clinical preventive dentistry based upon the periodic roentgen-ray examinations. *J Am Dent Assoc* 12:1084-1100.
72. Ricketts, D. N. J., Kidd, E. A. M. and Beighton, D. (1995a) Operative and microbiological validation of visual, radiographic and electronic diagnosis of occlusal caries in non cavitated teeth judged to be in need of operative care. *Br Dent J* 179:214-220.

73. Ricketts, D. N. J., Kidd, E. A. M., Smith, B. G. N. and Wilson, R. F. (1994)  
Radiographic detection of occlusal caries: Effect of X-ray beam factors on  
diagnosis. *Eur J Prosthodont Rest Dent* 4:149-154.
74. Ricketts, D. N. J., Kidd, E. A. M., Smith, B. G. N. and Wilson, R. F. (1995b)  
Clinical and radiographic diagnosis of occlusal caries: a study in vitro. *J Oral Rehab*  
22:15-20.
75. Rohr, M., Makinson, O. F. and Burrow, M. F. (1991) Pits and fissures: morphology.  
*ASDC J Dent Child* 58:97-103.
76. Shi, X. Q., Tranæus, S. and Angmar-Månsson, B. (2001) Comparison of QLF and  
DIAGNOdent for quantification of smooth surface caries *Caries Res* 35:21-26.
77. Sobkowiak, E. M., Rother, U., Hingst, V. und Staecker, W. (1983) Die  
Röntgendiagnostik bei Erkrankungen der Zahnhartgewebe - ihre Möglichkeiten und  
Grenzen. *Stomatol DDR* 33:59-67.
78. Spitzer, D. and ten Bosch, J. J. (1977) Luminescence quantum yields of sound and  
cariouss dental enamel. *Calcif Tissue Res* 24:249-251.
79. Steiner, M., Menghini, G., Curilovic, Z. und Marthaler, T. (1994) Kariesbefall der  
Schüler der Stadt Zürich im Zeitraum 1970-1993. *Schweiz Monatsschr Zahnmed*  
104:1210-1218.
80. Stübel, H. (1911) Die Fluoreszenz tierischer Gewebe im ultra-violetten Licht.  
*Pfluegers Arch ges Physiol* 142:1-14.
81. Sundström, F., Fredriksson, K., Montan, S., Hafström-Björkman, U. and Ström, J.  
(1985) Laser-induced fluorescence from sound and caries tooth substance:  
Spectroscopic studies. *Swed Dent J* 9:71- 80.



82. ten Bosch, J. J.: Light scattering and related methods in caries diagnosis. In: Stookey, G. K. (ed.): Early detection of dental caries: Proceedings of the 1<sup>st</sup> annual Indiana conference. Indianapolis, Indiana University (1996) S. 81-90.
83. ten Cate, B. J. M., Lagerweij, M. D., Wefel, J. S., Angmar-Månsson, B., Hall, A. F., Ferreira Zandoná, A. G., Stookey, G. K. and Faller, R. V.: In vitro validation studies of quantitative light-induced fluorescence. In: Stookey, G. K. (ed): Early detection of dental caries II: Proceedings of the 4<sup>th</sup> annual Indiana Conference. Indiana University School of Dentistry (1999) S. 231-250.
84. Tranæus, S., de Josselin de Jong, E., Lussi, A. and Angmar-Månsson, B. (1997a) Quantitative light-induced fluorescence for assessment of enamel caries around fillings: A pilot study. Caries Res 31:324.
85. Tranæus, S., Lussi, A., de Josselin de Jong, E. and Angmar- Månsson, B. (1997b) Quantification of occlusal caries - an in vitro study with laser fluorescence, electrical resistance measurement and histological examination. J Dent Res 76:1107.
86. Tranæus, S., Al-Katheeb, S., Björkman, S., Twetman, S. and Angmar-Månsson, B. (2001) Application of quantitative light-induced fluorescence to monitor incipient lesions in caries-active children. A comparative study of remineralisation by fluoride varnish and professional cleaning. Eur J Oral Sci 109:1-5.
87. van Amerongen, J. P., Kidd E. A. M. and ten Cate J. M. (1992) An in vitro assessment of the extent of caries under small occlusal cavities. Caries Res 26:89-93.
88. van Dorp, C. S. E., Exterkate, R. A. M. and ten Cate, J. M. (1988) The effect of dental probing on subsequent enamel demineralization. ASDC J Dent Child 55:343-347.
89. van der Veen, M. H. and de Josselin de Jong, E. (2000) Application of quantitative light-induced fluorescence for assessing early caries lesions. Monogr Oral Sci 17:144-162.

90. van der Veen, M. H., Ferreira Zandoná, A. G., de Josselin de Jong, E. and Stookey, G. K. (1998) Clinical evaluation of an intra-oral Quantitative Light-Induced Fluorescence camera. *Caries Res* 32:296.
91. Verdonschot, E. H., Abdo, H. and Frankenmolen, F. W. A. (1999) The in vivo Performance of a Laser Fluorescence Device Compared to Visual Inspection in Occlusal Caries Diagnosis. *Caries Res* 33:283.
92. Verdonschot, E. H., Bronkhorst, E. M., Burgersdijk, R. C. W., König, K. G., Schaeken, M. J. M. and Truin, G. J. (1992) Performance of some diagnostic systems in examinations for small carious lesions. *Caries Res* 26:59-64.
93. Weerheijm, K. L., van Amerongen, W. E. and Eggink, C. O. (1989) The clinical diagnosis of occlusal caries: a problem. *J Dent Child* 56:196-200.
94. Weerheijm, K. L., Gruijthuysen, R. J. M. and van Amerongen, W. E. (1992b) Prevalence of hidden caries. *J Dent Child* 59:408-412.
95. Weerheijm, K. L., Groen, H. J., Bast, A. J. J., Kieft, J. A., Eijkman, M. A. J. and van Amerongen, W. E. (1992a) Clinically undetected occlusal dentine caries. A radiographic comparison. *Caries Res* 26:305-309.
96. Wenzel, A., Larsen, M. J. and Fejerskov, O. (1991) Detection of occlusal caries without cavitation by visual inspection, film radiographs, xeroradiographs, and digitized radiographs. *Caries Res* 25:365-371.
97. Yassin, O. M. (1995) In vitro studies of the effect of a dental explorer on the formation of an artificial carious lesion. *J Dent Child* 62:111-117.

## **9      Anhang**

### **Im Ergebnis der Dissertation veröffentlichte wissenschaftliche Vorträge und Publikationen**

1. Heinrich-Weltzien, R., Kühnisch, J., Ifland, S. und Stöber, L.: Kariesdetektion mittels Quantitativer Lichtinduzierter Fluoreszenz - Klinische Möglichkeiten und Grenzen. 9. Jahrestagung der Gesellschaft für Kinderheilkunde und Primärprophylaxe in der DGZMK, Stuttgart, 27.-28.09.2002.
2. Kühnisch, J., Heinrich-Weltzien, R., Ifland, S. und Stöber L.: Okklusalkaries-Diagnostik - Ein Vergleich von visueller Inspektion und Quantitativer Lichtinduzierter Fluoreszenz (QLF) unter klinischen Bedingungen. 9. Jahrestagung der Gesellschaft für Kinderheilkunde und Primärprophylaxe in der DGZMK, Stuttgart, 27.-28.09.2002.
3. Heinrich-Weltzien, R., Kühnisch, J., Ifland, S., Tranæus, S., van der Veen, M. H. and Stöber, L. (2002) Detection of smooth surface lesions by QLF and visual inspection - an in vivo comparison. Caries Res 36:192.
4. Ifland, S., Heinrich-Weltzien, R., Kühnisch, J. und Stöber, L.: Diagnostik okklusaler Läsionen mittels Quantitativer Lichtinduzierter Fluoreszenzmessung - eine In-vitro-Studie. 10. Jahrestagung der Gesellschaft für Kinderheilkunde und Primärprophylaxe in der DGZMK, Jena, 26.-27.09.2003.

## **Danksagung**

Mein herzlichster Dank gilt Frau Prof. Dr. Roswitha Heinrich-Weltzien (Poliklinik für Präventive Zahnheilkunde am Zentrum für Zahn-, Mund- und Kieferheilkunde des Klinikums der Friedrich Schiller Universität) für die Überlassung des Themas sowie die großzügige und kompetente Unterstützung einschließlich der mir immer gewährten wissenschaftlichen Diskussion.

Ein besonderer Dank gilt Herrn Dr. Jan Kühnisch (Poliklinik für Präventive Zahnheilkunde am Zentrum für Zahn-, Mund- und Kieferheilkunde des Klinikums der Friedrich Schiller Universität) für Anregungen und Hilfestellungen zur Durchführung der Studie.

Zu großem Dank bin ich Frau Dr. Sofia Tranæus für ihre Gastfreundschaft sowie Frau Prof. Dr. Birgit Angmar-Månsson vom Karolinska Institut, Stockholm, Schweden, für die Möglichkeit, die mikroradiografischen Untersuchungen in ihrem Institut durchführen zu können sowie die mir gewährte Unterstützung bei der statistischen Auswertung, verpflichtet.

Gedankt sei auch Frau L. Karlsson, Frau K. Trollsås und Frau Dr. X.-Q. Shi (Department of Cariology and Endodontology, Karolinska Institutet, Huddinge, Schweden) für Anregungen und wissenschaftliche Diskussionen während meines Aufenthaltes in Schweden sowie für die Bereitstellung der Fotos der mikroradiografischen Anlage.

Herrn Prof. Dr. Dr. L. Stößer, Direktor der Poliklinik für Präventive Zahnheilkunde des Zentrums für Zahn-, Mund- und Kieferheilkunde der Friedrich-Schiller-Universität Jena danke ich für die Möglichkeit der Nutzung der apparativen Ausrüstung zur Durchführung der In-vitro-Studie.

## **Ehrenwörtliche Erklärung**

Hiermit erkläre ich, dass mir die Promotionsordnung der Medizinischen Fakultät der Friedrich-Schiller-Universität bekannt ist,

ich die Dissertation selbst angefertigt habe und alle von mir benutzten Hilfsmittel, persönlichen Mitteilungen und Quellen in meiner Arbeit angegeben sind,

mich folgende Personen bei der Auswahl und Auswertung des Materials sowie bei der Herstellung des Manuskripts unterstützt haben: Frau Prof. Dr. med. dent. R. Heinrich-Weltzien, Herr Dr. med. dent. J. Kühnisch, Frau Dr. S. Tranæus,

die Hilfe eines Promotionsberaters nicht in Anspruch genommen wurde und dass Dritte weder unmittelbar noch mittelbar geldwerte Leistungen von mir für Arbeiten erhalten haben, die im Zusammenhang mit dem Inhalt der vorgelegten Dissertation stehen,

dass ich die Dissertation noch nicht als Prüfungsarbeit für eine staatliche oder andere wissenschaftliche Prüfung eingereicht habe und

dass ich die gleiche, eine in wesentlichen Teilen ähnliche oder eine andere Abhandlung nicht bei einer anderen Hochschule als Dissertation eingereicht habe.

Weimar, 29.02.2004

Susanne Ifland